

Aus dem Medizinischen Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde  
des Fachbereichs Medizin der Philipps-Universität Marburg  
in Zusammenarbeit mit dem Universitätsklinikum  
Gießen – Marburg GmbH, Standort Marburg  
Geschäftsführender Direktor: Prof. Dr. Roland Frankenberger

Abteilung für Kieferorthopädie  
Leiterin: Prof. Dr. Heike Korbmacher-Steiner

**Maxilläres Advancement und Veränderung  
des perinasalen Weichgewebes.  
Eine retrospektive Studie mittels  
dentaler Volumentomographie.**

Inaugural-Dissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades der Zahnmedizin

dem Fachbereich Medizin der  
Philipps-Universität Marburg  
vorgelegt von

**Bernhard Kirsten**  
aus Rheinböllen

Marburg an der Lahn, 2016

Angenommen vom Fachbereich Medizin der Philipps-Universität Marburg  
am: 09. März 2016

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs.

Dekan: Prof. Dr. H. Schäfer

Referent: Prof. Dr. H. Korbmacher-Steiner

1. Korreferent: Prof. Dr. H. Küpper

## 0. Abkürzungsverzeichnis

In der nachfolgenden Tabelle 0 sind die in der vorliegenden Dissertation verwendeten Abkürzungen mit ihren Erläuterungen aufgelistet.

Tab. 0 Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Erläuterung
DVT	Dentale Volumentomographie
*.stl	Dateistandard „Surface Tessellation Language“
mmHg	Millimeter Quecksilbersäule
CT	Computertomografie
CBCT	Cone beam computed tomography
FRS	Fernröntgenseitenbild
sec.	Sekunden
DICOM	Digital Imaging and Communications in Medicine
HU	Hounsfield Units
NV	Naamloze Vennootschap (=Aktiengesellschaft)
CCD	Charge-coupled Device
(WK)	Wolfgang Kater
FOV	Field of view
SNA	Winkel zwischen Sella, Nasion und A-Punkt
MW	Mittelwert
ST	Standardabweichung
CI	Konfidenzintervall
kVp	Kilovolt Peak
mA	Milliampere
µm	Mikrometer
cm	Zentimeter
mm	Millimeter
KV	Kilovolt
FH	Frankfurter Horizontale

# Inhaltsverzeichnis

0. Abkürzungsverzeichnis .....	3
<b>1. Einleitung .....</b>	<b>6</b>
1.1 (Bimaxilläre) Orthognathe Chirurgie .....	6
1.2 Das DVT .....	9
1.2.1 Geschichte .....	9
1.2.2 Technische Bedingungen .....	10
1.3 3D-Rekonstruktionen aus dem DVT .....	10
1.3.1 Mimics .....	12
1.3.2 Geomagic Control .....	13
1.4 Zusammenhänge zwischen Hart- und Weichgewebsverlagerungen bei orthognath-chirurgischen Eingriffen .....	14
1.5 Alternative Methoden der 3D-Gesichtsvermessung .....	15
1.5.1 Laser .....	16
1.5.2 Holografie .....	17
1.5.3 Anthropometrie .....	18
1.5.4 Stereophotogrammetrie .....	19
<b>2. Zielsetzung und Fragestellung .....</b>	<b>20</b>
<b>3. Material und Methode .....</b>	<b>21</b>
3.1 Patientengut .....	21
3.1.1 Patientenauswahl .....	22
3.2 Die Bedingungen der dentalen Volumentomographie .....	23
3.3 Vorversuch - Probemessungen am Testkörper .....	25
3.4 Generierung von *.stl-Dateien in Mimics .....	26
3.5 Messverfahren zur Bestimmung der sagittalen Verlagerungsstrecke der Maxilla in Geomagic Qualify .....	35
3.6 Auswahl der Messpunkte im Weichgewebe .....	45
3.6.1 Vermessung des Weichgewebes in Mimics .....	48
3.7 Verwendete Hardware / Software .....	50
3.8 Statistische Methoden .....	51
<b>4. Ergebnisse .....</b>	<b>54</b>
4.1 Patientencharakteristik .....	54
4.1.1 Alter und Geschlecht .....	54
4.2 Operatives Vorgehen und Richtung der Kieferverlagerung .....	56



<b>4.3 Zeitspanne bis zur Nachmessung .....</b>	<b>57</b>
<b>4.4 Skelettale Veränderungen .....</b>	<b>57</b>
4.4.1 Methodenfehler .....	57
4.4.2 Korrelation der Erst- mit den Zweitmessungen .....	58
4.4.3 Skelettale Verlagerung der Maxilla in der Sagittalebene .....	60
<b>4.5 Weichteilveränderungen.....</b>	<b>61</b>
4.5.1 Methodenfehler .....	61
4.5.2 Korrelation der Erst- mit den Zweitmessungen .....	62
4.5.3 Veränderung der äußeren Nase .....	64
4.5.4 Korrelation von Weichgewebsveränderungen mit dem Patientengeschlecht .....	67
<b>4.6 Korrelation zwischen Hart- und Weichgewebsverlagerungen .....</b>	<b>68</b>
4.6.1 Operationsverfahren und Veränderung der äußeren Nase .....	69
<b>4.7 Berechnungen zur Vorhersage der Änderungen des Weichgewebes in Abhängigkeit der skelettalen Änderungen .....</b>	<b>70</b>
<b>4.8 Vergleich der T0-Messewerte der Nasenmorphologie mit anthropometrischen Standardwerten .....</b>	<b>72</b>
<b>4.9 Teststärkeanalyse .....</b>	<b>73</b>
 <b>5. Diskussion .....</b>	 <b>74</b>
5.1 Veränderung der Nase nach maxillärem Advancement .....	74
5.2 Diskussion der Methodik .....	77
5.3 Diskussion der Operationsmethode .....	79
5.4 Verwendung ionisierender Strahlung .....	80
5.5 Zusammenfassende Diskussion .....	81
 <b>6. Zusammenfassung und Beantwortung der Fragestellung .....</b>	 <b>83</b>
6.1 Deutsche Zusammenfassung .....	83
6.2 Abstract and responses to questions .....	85
 <b>7. Literaturverzeichnis.....</b>	 <b>87</b>
 <b>8. Anhang .....</b>	 <b>98</b>
8.1 Tabellenverzeichnis .....	98
8.2 Abbildungsverzeichnis .....	99
8.3 Aufklärungsbogen für Studienteilnehmer .....	101
8.4 Tabellarischer Lebenslauf .....	103
8.5 Verzeichnis der akademischen Lehrer .....	103
8.6 Ehrenwörtliche Erklärung .....	104
8.7 Danksagung .....	105

# **1. Einleitung**

## **1.1 (Bimaxilläre) Orthognathe Chirurgie**

Unter Dysgnathien werden entweder angeborene oder erworbene Form- und Lageanomalien der Kiefer verstanden [98]. Es werden verschiedene Formen dieser Bisslageanomalien unterschieden. Das Hauptaugenmerk der vorliegenden Arbeit liegt auf Patienten mit einer maxillären Retrognathie bei vorliegender Angle Klasse III [4].

Die Indikation eines kombiniert kieferorthopädisch-kieferchirurgischen Behandlungsansatzes ist im Allgemeinen bei Patienten mit abgeschlossenem Wachstum gegeben. Weiterhin muß eine stark ausgeprägte Fehlposition eines oder beider Kiefer vorhanden sein, sodass eine alleinige kieferorthopädische Behandlung zum Erreichen einer stabilen Okklusion nicht ausreichend ist. Ein abgeschlossenes Wachstum ist nach heutigen Gesichtspunkten nicht mehr obligat, wenn sich durch eine vorzeitige chirurgische Intervention bei sehr ausgeprägten Dysgnathien beispielsweise die psychosoziale Entwicklung der Patienten entscheidend positiv beeinflussen lässt [124, 125].

Zumeist liegen die einzelnen Formen der skelettalen Fehlentwicklungen des Gesichtsschädels in kombinierter Form vor, womit sich bei Beachtung funktionseller und ästhetischer Gesichtspunkte die Indikation einer bimaxillären Umstellung bei einer deutlichen Mehrheit der Patienten ergibt [5, 113, 122].

Die Behandlung von Dysgnathien wird in der Regel maßgeblich durch eine kieferorthopädische Vor- und Nachbehandlung begleitet. So erfolgt vor geplanter Umstellungsosteotomie mittels kieferorthopädischer Apparaturen eine Dekompensation der Zahnbögen, sodass sich an Gipsmodellen der Kiefer eine stabile Okklusion einstellen lässt. In der anschließenden zweiten Behandlungsphase wird diese Okklusion unter Beachtung bestimmter kephalometrischer und ästhetischer Parameter operativ am Patienten hergestellt [33, 43, 113]. Abschließend erfolgt kieferorthopädisch die Feineinstellung der Okklusion.

Die erste dokumentierte Prognathie-Operation wurde 1897 gemeinsam durch Vilray Blair (Allgemeinchirurg), Edward Angle (Kieferorthopäde) und James Whipple (Zahnarzt) durchgeführt [112]. Angle war es auch, der im Nachgang ein kombiniert kieferorthopädisch-kieferchirurgisches Vorgehen mit einer Modell-OP

vorschlag [102].

Die erste dokumentierte Le Fort I Osteotomie der Maxilla im Rahmen einer Dysgnathie-Operation wird Wassmund 1927 zugeschrieben [109].

Gegenwärtig werden, beginnend von Zahn 15 bis Zahn 25, etwa am höchsten Punkt der Umschlagsfalte mit dem Skalpell Mukosa und Periost durchtrennt. Daraufhin erfolgt das Abschieben der Weichteile bis zu den Infraorbitalnerven, in die Fissura pterygopalatina beidseits, sowie in die Apertura piriformis hinein. In kontrollierter arterieller Hypotension (arterieller Mitteldruck < 80 mmHg) wird nun mit der oszillierenden Säge eine Osteotomie der Maxilla basierend auf der Le Fort I Ebene durchgeführt. Die Osteotomie verläuft beginnend an der Apertura piriformis cranial der Spina nasalis anterior durch die faciale Kieferhöhlenwand sowie die Crista zygomaticoalveolaris und durch das Tuber maxillae zur dorsalen Fläche der Kieferhöhle, trennt die kaudale Spitze des Processus pterygoideus ossis sphenoidalis ab, biegt nach vorn zur Nasenhöhle um, durchzieht die laterale Nasenwand in ihrem basalen Anteil und erreicht von dort wieder die Apertura piriformis [115]. Sodann erfolgt das Absetzen der Maxilla vom Os sphenoidale in der Fissura pterygopalatina beiderseits mit dem gebogenen Obwegeser-Meißel, sowie die Osteotomie des nasalen Septums mit dem Septummeißel. Anschließend wird der zahntragende Teil des Oberkiefers nach kaudal im Rahmen der "down fracture" bewegt. Es folgt die Mobilisation der Maxilla mit den Rowe'schen Rüttelzangen.

Entsprechend der präoperativ geplanten Neuposition des Oberkiefers erfolgt die (Teil-)Resektion der facialen, dorsalen bzw. lateralen Kieferhöhlenwand sowie eventuell der seitlichen Nasenwand, teils mit der oszillierenden Säge, teils mit grazilen Knochenstanzen. Insbesondere die Präparation und die Verlagerung des Gefäßnervenbündels palatinal beiderseits gestalten sich oft als überaus zeitaufwendig, da sich hier der Knochen regelmäßig als sehr kräftig erweist. Je nach Vorliegen stark eingengter Nasenwege bzw. Neuposition der Maxilla erfolgt außerdem eine umfangreiche mikrochirurgische Sanierung.

Der operationsbedingt unterbrochene Nasenboden wird nun mit resorbierbaren Vicryl-4/0 (Ethicon, Incorporated; Sommerville; New Jersey, USA) Nähten rekonstruiert und mit Genta-Coll (RESORBA Medical GmbH, Nürnberg) zur Vermeidung von aufsteigenden Infektionen ausgelegt.

Nach Neupositionierung des Oberkiefers mittels Gesichtsbogen und Glabellastütze bzw. über den im Vorfeld angefertigten OP-Splint, der die okklusale Beziehung des Oberkiefers zum Unterkiefer festlegt, wird der Oberkiefer in Endposition mittels angepasster Titanminiplatten und dazugehörigen Schrauben fixiert.

Daraufhin erfolgt über ein Bohrloch kaudal der Spina nasalis anterior die Fixation des eventuell zuvor begradigten Nasenseptums an der Spina nasalis anterior. Außerdem werden Zügelungsnähte für die Basen der beiden Nasenflügel angelegt, die mit dieser Technik an der operationsbedingt reduzierten Spina nasalis anterior fixiert werden [72, 95]. Der Nahtverschluss erfolgt mit Seide-4/0 (Ethicon, Incorporated; Sommerville; New Jersey, USA) Einzelknopfnähten oder Monocryl-4/0 (Ethicon, Incorporated; Sommerville; New Jersey, USA) als fortlaufende Naht [43, 46, 102].

## 1.2 Das DVT

Sir Godfrey Hounsfield legte in den 1970er-Jahren mit der Erfindung und Weiterentwicklung des CT den Grundstein für die heutige dentale Volumentomographie [48].

In der DVT kommen herkömmliche Röntgenstrahlen zur Anwendung, die nach Abtastung computergestützt in verschiedene Bilder und Betrachtungsmöglichkeiten umgerechnet werden. Seit der Einführung der DVT Ende der 1990er Jahre hat sich dieses bildgebende Verfahren etabliert und findet heute neben der Hals-Nasen-Ohrenheilkunde deutlich überwiegende Anwendung in den verschiedenen Bereichen der Zahnmedizin [80].

### 1.2.1 Geschichte

Aufgrund der hohen Strahlenbelastung, des hohen Aufwandes beim Betrieb von CT-Geräten sowie der ungünstigen Kosten-Nutzen-Relation entwickelte die Arbeitsgruppe um Mozzo 1997 ein neuartiges Gerät, welches erstmals mit dem heutigen Prozess der Bildgenerierung beim DVT vergleichbar war. Dieses neue Gerät (NewTom-9000, Quantitative Radiology, Verona) war in der Lage, mit der CT vergleichbare Bilder zu erzeugen, wobei deren Generierung mit einer deutlich geringeren Strahlenexposition des Patienten verbunden war [77].

Die Besonderheit bei der Erzeugung eines DVT liegt in der Erfassung des zu untersuchenden Bereiches mit einem einzelnen Umlauf von 360° durch ein kegelförmiges (cone beam) Strahlenbündel. Daraus entstand auch der im englischsprachigen Raum geläufige Begriff „cone beam computed tomography (CBCT)“ für die dentale Volumentomographie [67].

Die Verwendung eines kegelförmigen Strahlenbündels war bis 1997 lediglich aus dem Bereich der Strahlentherapie und der Untersuchung einer kleinen Stückzahl an Prüfkörpern im Bereich der Biomedizin und der Industrie bekannt [77].

Seither ist ein stetiger Anstieg der registrierten DVT-Systeme (ca. 900 im Jahr 2013) sowie der Anzahl der durchgeführten DVT-Untersuchungen (ca. 340.000 im Jahr 2013) in Deutschland zu verzeichnen [106].

### 1.2.2 Technische Bedingungen

Wie unter 1.2.1 beschrieben, ist die Grundlage zur Erstellung eines DVT die 360° Rotation eines kegelförmigen Strahlenbündels um das zu untersuchende Objekt. Es erfolgt die Erzeugung einer großen Anzahl von Einzelbildern auf einer zirkulären Bahn.

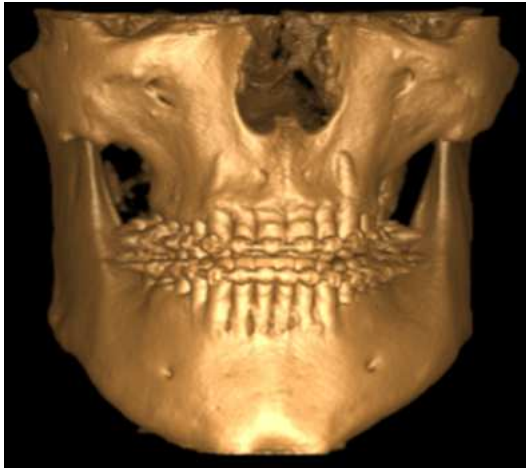
Die emittierte Röntgenstrahlung wird nach Durchlaufen des zu untersuchenden Objektes geschwächt und trifft mit veränderter Intensität auf den Bilddetektor [127]. Aus den so erzeugten Einzelbildern (bei Scanzeit 26,0 sec. 619 Einzelbilder) wird durch die Software nach dem Prinzip der gefilterten Rückprojektion ein Datensatz berechnet, der einem Volumen entspricht [14]. Die kleinste Einheit dieses Volumens wird als Voxel bezeichnet. Eine einzelne Schicht wiederum entspricht vielen nebeneinander liegenden Voxeln und durch die räumliche Zuordnung entsteht ein Volumen, welches anschließend mit einem geeigneten Computer und der dazugehörigen Software in einen 3D-Datensatz umgerechnet werden kann [90].

### 1.3 3D-Rekonstruktionen aus dem DVT

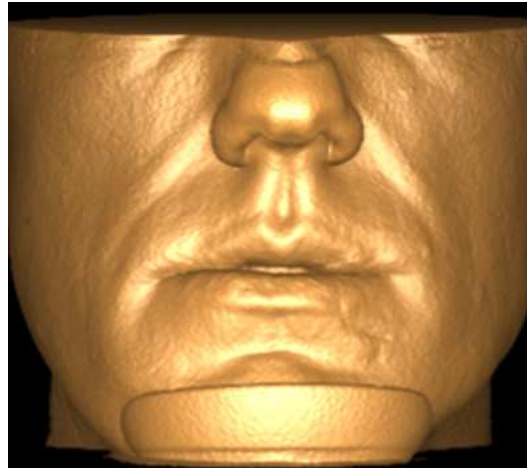
Die Grundlage, um prä- und postoperative DVT-Aufnahmen zu vergleichen oder in Relation zueinander zu setzen, sind individuelle 3D-Modelle (sog. \*.stl-Daten), die aus den jeweiligen DICOM-Daten errechnet werden müssen. DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine (Digitale Bildverarbeitung- und -kommunikation in der Medizin)) wurde im Zuge der Digitalisierung von Röntgentechnologie entwickelt und hat sich seit den 1980er-Jahren weltweit als offener (Datei-)Standard etabliert, um z. B. einen DVT-Datenaustausch innerhalb verschiedener Hersteller zu gewährleisten [28].

Die berechneten Oberflächen der untersuchten Gewebe müssen die anatomische reale Situation möglichst präzise abbilden. Außerdem müssen sich gewonnene tomographische Daten dreidimensional visualisieren lassen [126]. Die gängigen DVT-Systeme werden mit einer zugehörigen Software ausgeliefert, die ein sofortiges Betrachten der gewonnenen Aufnahmen, entweder in Schichten oder als 3D-Modell erlaubt. Wie in Abbildung 1 und 2 dargestellt lässt sich durch

gewisse Einstellmöglichkeiten der Schwellenwert des 3D-Modells verändern und es werden Bereiche ähnlicher "Röntgendichte" gemäß der Hounsfield-Skala angezeigt. Luft entspricht dabei der CT-Zahl von (-)1000 HU (Hounsfield Units), Wasser von 0 HU, Knochen von 500-1500 HU und Haut ca. (-)800 HU [47].



**Abb. 1 3D-Visualisierung mit 500 HU**



**Abb. 2 3D-Visualisierung mit (-)800 HU**

Bei einer definierten Anordnung aus Strahlenemitter, Detektionspanel und möglichst bewegungslos im Gerät korrekt positioniertem Patienten können nun einzelne Schichten aufgezeichnet werden. Wie bereits beschrieben, ist so durch korrekte räumliche Zuordnung der einzelnen Bildpunkte (Voxel) zueinander die Erstellung eines Volumens möglich. Aufgrund der unterschiedlichen HU von z.B. Luft, Haut und Knochen wird die exakte Generierung von dreidimensionalen Modellen der jeweiligen Strukturen möglich. Durch die exakte Korrespondenz an wachstumsstabilen Regionen und die hohe Ortsauflösung der DVT wird die Überlagerung von korrespondierenden 3D-Modellen möglich.

Wie folgend dargestellt, existieren viele Möglichkeiten zur räumlichen Erfassung der Gesichtsteile. Die hervorragende Eignung von CT- bzw. DVT-Daten zur Analyse ergibt sich auch aus der technisch bedingten überlagerungsfreien und maßstabsgetreuen Bildherstellung [105].

### 1.3.1 Mimics

Das Bildverarbeitungsprogramm zur Erstellung, Analyse und Bearbeitung dreidimensionaler Objekte „Mimics“ ist Teil des Software Paketes Mimics Innovation Suite, welches vom Unternehmen Materialise NV mit Sitz in Leuven/Belgien hergestellt wird.

Es dient speziell der biomedizinischen Anwendung und kann zur Erstellung, Analyse und Bearbeitung von aus DICOM-Daten gewonnen 3D-Modellen genutzt werden. In Abbildung 3 ist die Oberfläche der Software nach Laden eines DICOM-Datensatzes dargestellt. Überdies können mit dem Programm sogenannte \*.stl-Daten (Surface Tessellation Language), ein Dateiformat zur Beschreibung von 3D-Körpern, exportiert werden, die wiederum in hierfür geeigneter Software eingelesen werden können. In einer \*.stl-Datei sind die Bildinformationen als definierte Anordnung von Dreiecken abgespeichert, so dass mindestens drei Dreiecke (meist vier oder fünf) einen gemeinsamen Eckpunkt besitzen, also manche Punkte mehrfach definiert sind. Der \*.stl-Standard wird vor allem zum Datenaustausch bei der Fertigung von dreidimensionalen Körpern durch ein generatives Fertigungsverfahren, wie z.B. 3D-Druck angewendet.

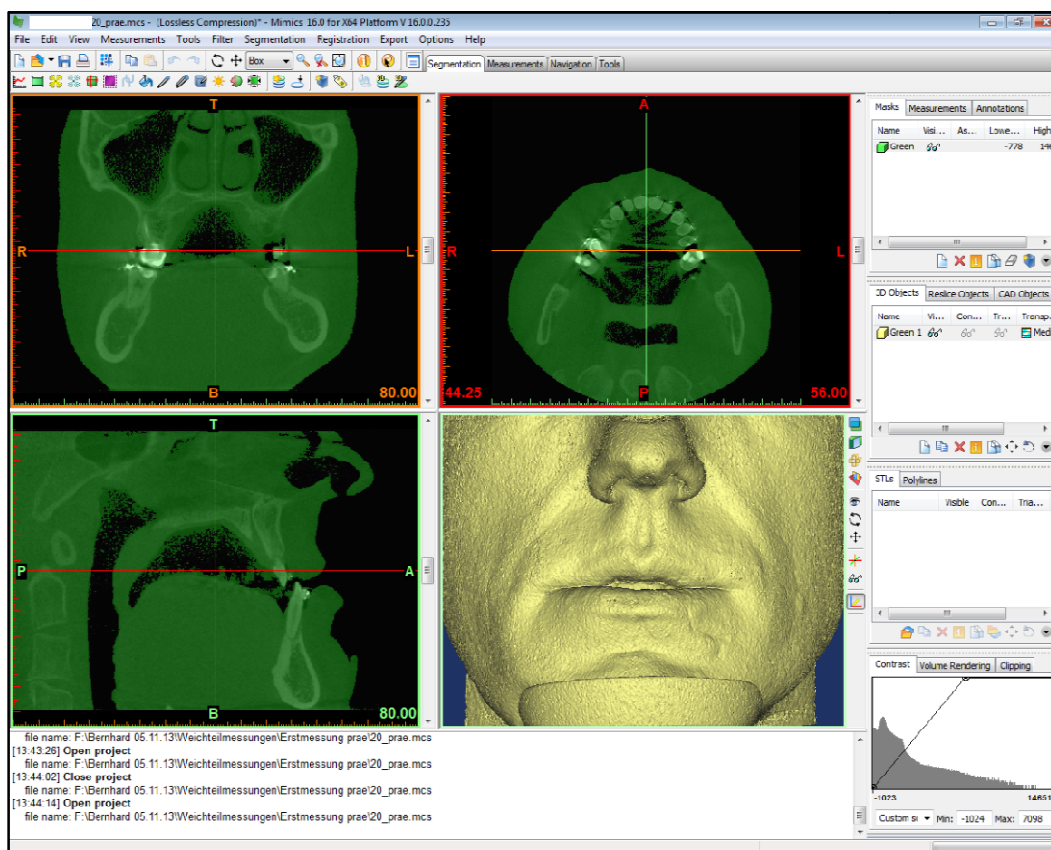


Abb. 3 Oberfläche der Software Mimics



### 1.3.2 Geomagic Control

Bei dem Programm Geomagic Control (bis 2013 Geomagic Qualify) handelt es sich um eine Software, mit der komplexe Messungen an dreidimensionalen Objekten vorgenommen werden können. Geomagic Control ist Teil des Software Paketes Geomagic Studio, welches vom Unternehmen Geomagics mit Sitz in Morrisville, North Carolina, USA hergestellt wird. Die Software war ursprünglich für Qualitätskontrollen des produzierenden Gewerbes vorgesehen. Geomagic Control findet weiterhin in verschiedensten technischen Bereichen Anwendung, so z.B. in der Luft- und Raumfahrttechnik. Produzierte Teile werden berührungslos dreidimensional erfasst und softwarebedingt mit einem Referenzmodell verglichen. Abweichungen werden im  $\mu\text{m}$ -Bereich registriert. Die Programmoberfläche nach Laden zweier DICOM-Datensätze ist in Abbildung 4 dargestellt.

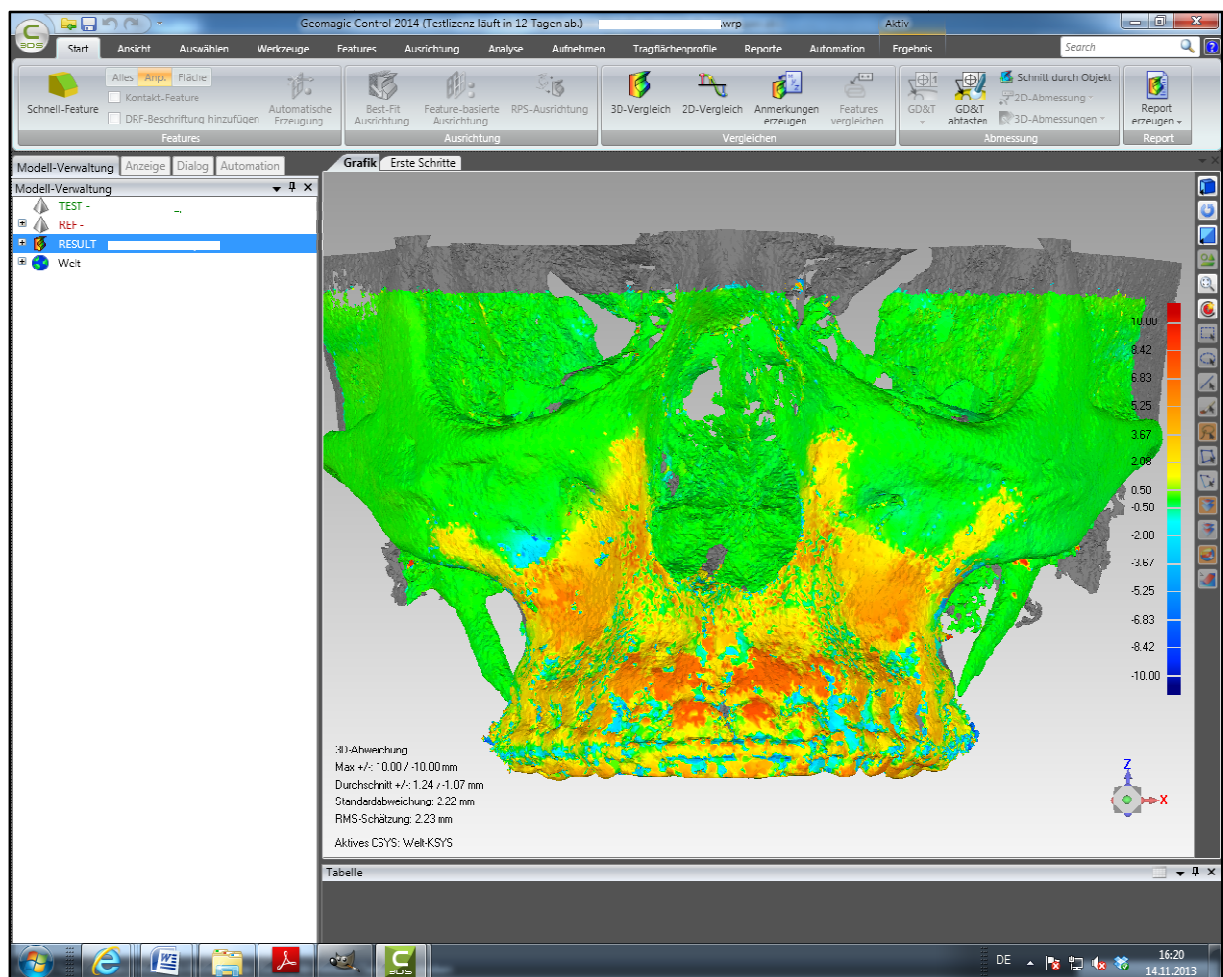


Abb. 4 Oberfläche der Software Geomagic Control 2014

## **1.4 Zusammenhänge zwischen Hart- und Weichgewebsverlagerungen bei orthognath-chirurgischen Eingriffen**

Erfolgt eine Lageveränderung der Maxilla oder/und Mandibula, geht dies auch mit einer entsprechenden Veränderung der den Knochen bedeckenden Weichgewebe einher [7, 92].

Der Effekt chirurgischer Bisslagekorrekturen auf die aufgelagerten Weichgewebe des Gesichtes wurde schon in der Vergangenheit in diversen Studien mit teilweise sehr unterschiedlicher Methodik untersucht [3, 7, 9, 12, 16, 22, 23, 33, 45, 49, 51, 56, 57, 61, 68, 69, 75, 83, 84, 87, 88, 92, 93, 96, 101, 114, 123].

Speziell im asiatischen Sprachraum wurde in den vergangenen fünf Jahren die Mehrzahl der vorhandenen Untersuchungen der Gesichtsweichteile mit 3D-Rekonstruktionen aus Röntgendaten durchgeführt. So wurden beispielsweise durch die Arbeitsgruppe um Hwang et al. anhand von 3D-Rekonstruktionen dentaler Volumentomogramme die Reaktionen bestimmter Gesichtsweichteile auf eine maxilläre Impaktation im Rahmen der chirurgischen Korrektur von Gesichtsskoliosen untersucht [49]. Allen diesen Untersuchungen ist jedoch gemein, dass lediglich Patienten des asiatischen Typus untersucht wurden [7, 16, 17, 56, 57, 87, 88].

Interessante Untersuchungen bezüglich einer sich ändernden äußeren Nasenbreite wurden im Zuge von chirurgisch unterstützten Gaumennahterweiterungen durchgeführt. Jedoch konnten hierbei keine signifikanten Veränderungen festgestellt werden [51]. Es gilt klinisch und wissenschaftlich als erwiesen, dass die äußere Nase im Rahmen von chirurgischen Verlagerungen der Maxilla einer Veränderung unterliegt [34]. Jedoch fehlen Studien, die darauf eingehen, wie das Verhältnis von Verlagerungsstrecke zu metrischer Veränderung ist [18, 123].

Überdies existieren nur wenige Studien, die zusätzlich zu den sich aus der Indikation und Fragestellung bei Schichtbild-Röntgenaufnahmen ergebenden Rekonstruktionen der Hartgewebe (z.B. Knochen und Zähne, etc.), die ohnehin immer die im Röntgenfeld liegenden Weichgewebe untersuchen [24].

Folglich kann durch Studien, die ähnlich der vorliegenden Studie sind, der Informationsgewinn vorliegender Röntgendaten vergrößert werden.

## **1.5 Alternative Methoden der 3D-Gesichtsvermessung**

Wie unter 1.4 erläutert existieren verschiedene Methoden zur Erfassung und Analyse der Weichgewebe. Die wohl am häufigsten in der Vergangenheit verwendeten Methoden sind dabei die Fotografie sowie die Anwendung konventioneller zweidimensionaler radiologischer Verfahren, z.B. das FRS (Fernröntgen-seitenbild) mit entsprechender Vermessung von Strecken und Winkeln [23, 52, 58, 62, 63].

Zur Erfassung auch räumlicher Parameter werden verschiedene optische Verfahren (z.B. Laser, Streifenlichtprojektion, Stereophotogrammetrie) [7, 16, 22, 39-41, 45, 120] sowie als radiologische Methoden die Computertomographie (CT) und die dentale Volumentomographie (DVT) eingesetzt [35, 49, 55, 56, 84, 88, 101, 105]. Im Gegensatz zu den optischen sind die radiologischen Verfahren nicht auf die Darstellung der Körperoberfläche beschränkt, sondern es werden auch tiefere knöcherne Strukturen erfasst [116].

### 1.5.1 Laser

Bereits seit Beginn der 1980er Jahre werden Geräte unter der Verwendung von Laserlicht eingesetzt, um Gesichtsweichteile zu digitalisieren und computergestützt zu analysieren [6, 76]. Die Objekterfassung erfolgt dabei entweder durch den Scan vieler einzelner Punkte oder Punkte einer Linie, die über das Gesicht gesteuert wird. Beides basiert auf dem sogenannten Triangulationsverfahren, bei dem das Licht entweder in Form eines einzelnen Punktes oder über eine optische Apparatur als Linie angepasst auf das zu registrierende Objekt gebracht und anschließend über einen lichtempfindlichen Sensor wieder registriert wird [99]. Ein Detektor (meist CCD-Kamera), der senkrecht zur Bezugsebene angebracht ist, registriert den auf das Objekt gerichteten Punkt. Ist der Detektor in einem festen (bekannten) Betrachtungswinkel zur Lichtquelle angebracht, ist es nun möglich, über geometrische Formeln die Position des Punktes zu berechnen. Holberg hat in einer Studie 2002 das Triangulationsverfahren durch einen Vergleich mit der Arbeitsweise der menschlichen visuellen Wahrnehmung sehr anschaulich beschrieben [39].

Der auf den Sensor treffende Lichtpunkt kann nun bedingt durch den fest eingestellten Geräteaufbau exakt lokalisiert und metrisch erfasst werden.

Dieses Verfahren kann ebenso bei Verwendung einer Lichtlinie (bestehend aus vielen einzelnen Punkten, s.o.) sehr zeiteffizient umgesetzt werden.

Durch die computergestützte Auswertung und Berechnung eines räumlichen Datensatzes entsteht ein dreidimensionales Oberflächenmodell des abgetasteten Objektes.

### 1.5.2 Holografie

Eine andere interessante Möglichkeit zum Erfassen dreidimensionaler Formen ist die Holographie. Ursprünglich 1947 durch den Ingenieur Dennis Gábor zur Weiterentwicklung von elektronenmikroskopischen Betrachtungen erfunden und für lange Zeit unbeachtet geblieben, konnte nach der Entwicklung des Lasers 1964 schließlich das erste Hologramm aufgezeichnet werden. Gábor erhielt 1971 für seine Entdeckung den Nobelpreis [30].

Die Arbeitsgruppe um Professor Hering an der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf beschäftigt sich seit ca. 2000 mit der holographischen Gesichtsvermessung. Durch Bongartz wurde 2004 eine Dissertation verfasst, in welcher ausführlich die Möglichkeiten und technisch/mathematischen Grundlagen zur holographischen Gesichtsvermessung dargelegt sind [11]. Als berührungsloses Werkzeug zur Planung von Eingriffen in der Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie ist die Holographie auch wegen der extrem kurzen Aufnahmezeit von nur wenigen Nanosekunden gut geeignet. Daraus ergibt sich eine weitestgehende Unabhängigkeit von bewegungsbedingten Aufnahmefehlern [73]. In der Medizin findet die Holographie weiterhin im Bereich der experimentellen Generierung von dreidimensionalen Ansichten schwer zugänglicher Regionen mittels Endoskopie Anwendung [104].

### 1.5.3 Anthropometrie

Die Anthropometrie beschäftigt sich mit der direkten Vermessung (und Beurteilung der Messungen) des menschlichen Körpers mit teilweise sehr simplen Apparaturen [44]. Mit z.B. Linealen oder Schieblehren werden definierte Strecken und Winkel registriert. Dieses Verfahren findet aufgrund der technisch nur sehr geringen Anforderungen schon seit langer Zeit Anwendung. Zu den wohl bekanntesten und auch ersten anthropometrischen Darstellungen zählt der in Abbildung 5 dargestellte "vitruvianische Mensch" von Leonardo da Vinci aus der Zeit um das Jahr 1490. Weiterhin zählen zu den bedeutendsten anthropometrischen Darstellungen die Werke von Yves Klein aus den 1950er-Jahren. Er ließ mit einer speziellen blauen Farbe versehene Aktmodelle die Farbe mit dem Körper direkt auf die Leinwand aufbringen.

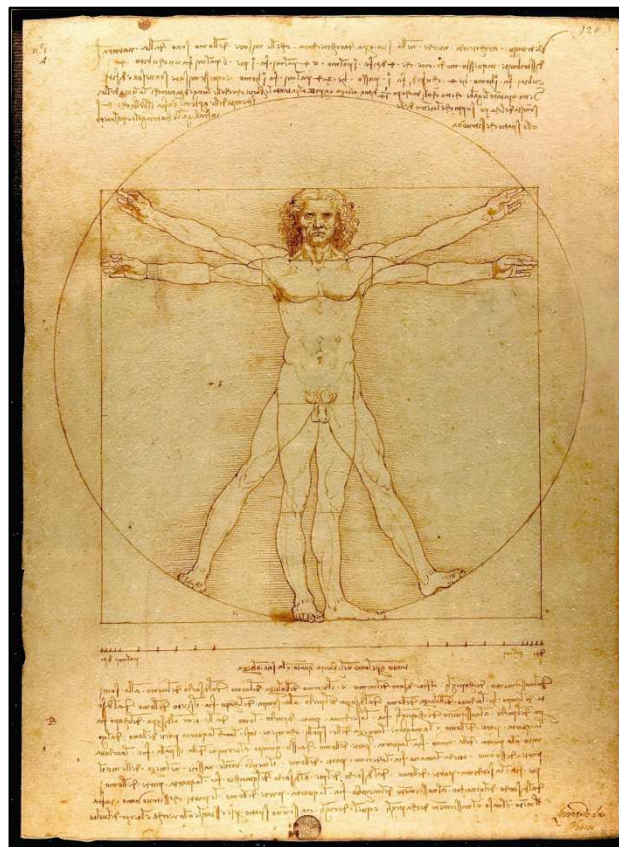


Abb. 5 Leonardo da Vinci, Der vitruvianische Mensch [121]

In der Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie sowie der Kieferorthopädie werden anthropometrische Vermessungen regelmäßig zur Befunderhebung verschiedenster Art angewendet [1, 89, 94, 117, 118]. Ein Beispiel sei die simple Vermessung von Overjet oder Overbite mittels einer Schieblehre oder das Abtragen der unterschiedlichen Proportionen im Gesicht, z. B. der Nasenbreite [60]. Auch die Fotoanalyse nach A.M. Schwarz entspricht einer (indirekten) anthropometrischen Analyse [108]. Weiterhin sei erwähnt, dass die Frankfurter Horizontale (Oberrand des Forus acusticus externus (=Porion) zum Infraorbitalpunkt (=Orbitale)) auf dem Anthropologenkongress in Frankfurt am Main im Jahr 1882 als Bezugsebene für die Kranimetrie festgelegt wurde [21]. Ein Beispiel für die anthropometrische Vermessung der Veränderung der Nasenbreite im Bereich der Nasenflügel ist die Studie von Johnson von 2010 [51]. Überdies beschäftigte sich die Arbeitsgruppe um Farkas in verschiedenen Studien ausführlich mit der anthropometrischen Vermessung des Menschen [26].

#### 1.5.4 Stereophotogrammetrie

Grundlage der Stereophotogrammetrie sind Fotografien eines dreidimensionalen Körpers aus zwei verschiedenen Winkeln. Über geometrische Funktionen und die unter 1.5.1 beschriebene Möglichkeit der Triangulation besteht die Möglichkeit entsprechende Bilder dreidimensional auszurichten [97]. Es existiert eine überschaubare Anzahl an stereophotogrammetrischen Systemen, die auch zur Vermessung von Gesichtsoberflächenveränderungen verwendet werden. Computergestützt erfolgt die Auswertung über eine Falschfarbencodierung, Profillinienmodelle und zahlreiche weitere Verfahren. Proll hat sich im Rahmen seiner Dissertation 2010 mit der stereophotogrammetrischen Vermessung und Analyse von Gesichtsoberflächenveränderungen orthognath-chirurgischer Patienten beschäftigt. Zusammenfassend wurde festgestellt, dass sich bei einer weiteren Entwicklung mit der verwendeten Methode eine gute Gesichtsdokumentation- und -analyse realisieren ließe [17, 65, 92, 100, 119].

## **2. Zielsetzung und Fragestellung**

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, an aus digitalen Volumentomogrammen erstellten dreidimensionalen Weich- und Hartgewebsrekonstruktionen unsere klinischen Erkenntnisse hinsichtlich der Nasenverbreiterung bei einer chirurgischen Vorverlagerung der Maxilla zu beweisen.

Außerdem soll statistisch evaluiert werden, ob eine Gesetzmäßigkeit zwischen der sagittalen Verlagerungsstrecke der Maxilla und der sich eventuell verändernden Nasenbreite besteht.

Folgende Fragen sollen im Rahmen der Untersuchung geklärt werden:

1. Sind Zusammenhänge zwischen Hart- und Weichgewebsverlagerungen nach maxillärem Advancement ermittelbar?
2. Nimmt die transversale Ausdehnung der äußeren Nase in Abhängigkeit von der sagittalen Verlagerungsstrecke der Maxilla zu?
3. Sind die ermittelten Werte vergleichbar zu Untersuchungsergebnissen asiatischer Patienten?
4. Eignet sich die verwendete Methode zur metrischen Analyse?



### **3. Material und Methode**

#### **3.1 Patientengut**

In der vorliegenden retrospektiven Studie werden die DVT-Datensätze von 33 Patienten der Klinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie Bad Homburg (Chefarzt: Dr. Dr. W. Kater), die in einem Zeitraum von 08.2009 bis 10.2013, behandelt wurden, analysiert. Alle Patienten sind kaukasischer Abstammung und zeigen präoperativ eine Angle Klasse III Verzahnung bei maxillärer Retrognathie. Die Vorverlagerung der Maxilla wurde in allen Ebenen des Raumes vorgenommen und danach in der Patientenakte dokumentiert. Alle Operationen wurden von dem selben Operateur (WK) nach identischer Technik durchgeführt. Im Untersuchungszeitraum war eine Gewichtsschwankung von größer als fünf Kilogramm nicht zulässig, das jeweilige Körpergewicht wurde den entsprechenden Anästhesie-Protokollen entnommen. Bei allen Patienten wurde präoperativ ein digitales Volumentomogramm zur Planung der Operation erstellt. Postoperativ wurde dann vor Entnahme der Osteosyntheseplatten und –schrauben noch ein digitales Volumentomogramm zur Abklärung der individuellen Reossifikation angefertigt, um einer verfrühten Operation zur Metallentfernung vorzubeugen. Speziell im Oberkiefer lässt sich eine einwandfreie Aussage bzgl. der Verknöcherung nach Vorverlagerung der Maxilla nur im DVT treffen.

Es wurde ein Informations- und Einwilligungsbogen bzgl. der Nutzung der Daten für die Studie entworfen und von jedem an der Studie teilnehmenden Patienten unterzeichnet (siehe 8.3). Alle Patientendaten wurden verblindet.

Die vorliegende Arbeit wurde entsprechend den ethischen Grundsätzen der Deklaration von Helsinki verfasst.

### 3.1.1 Patientenauswahl

#### Einschlusskriterien:

- Patienten mit maxillärer Retrognathie ( $SNA < 80^\circ$ ) und der Notwendigkeit eines chirurgischen Advancements der Maxilla, die dieses auch erhalten haben.
- Patienten kaukasischer Abstammung
- Bei der präoperativ durchgeführten Modell-OP musste sich anhand vorliegender, aktueller Gips-Kiefermodelle eine stabile Verzahnung in Angle Klasse I einstellen lassen.

#### Ausschlusskriterien:

- Patienten ohne maxilläre Retrognathie, also ohne vorliegende skelettale Rücklage des Oberkiefers.
- Patienten z.B. asiatischer Abstammung
- Patienten, die eine zusätzliche Augmentation des Mittelgesichtes erhielten.
- Patienten mit kraniofazialen Anomalien bzw. Syndromen oder Arten von Lippen-Kiefer-Gaumenspalten.

Aus insgesamt 2300 Patienten, die sich zuvor einer kombiniert kieferorthopädisch-kieferchirurgischen Behandlung unterzogen hatten, erfüllten 33 Patienten im Alter von 14 bis 56 Jahren (vollendete Lebensjahre) die geschilderten Ein- bzw. Ausschlusskriterien.

Das mittlere Alter betrug  $24,3 \pm 10,4$  Jahre, der Altersmedian war 19,0 Jahre mit einem 68%-CI von 16,7 bis 34,0 Jahren.

17 Patienten (52%) waren männlich und 16 (48%) weiblich.

### **3.2 Die Bedingungen der dentalen Volumentomographie**

Alle Patienten wurden präoperativ kieferorthopädisch mit dem Ziel der Ausformung der Zahnbögen zur gesicherten operativen Einstellung einer Verzahnung in eine Angle Klasse I behandelt.

Die präoperativen DVT-Aufnahmen des gesamten Studiengutes wurden im Mittel zwei bis drei Wochen vor dem geplanten Eingriff durchgeführt (T0). Vorher wurde allen Patienten die Funktionsweise des Gerätes erklärt und während eines strahlungsfreien Probeumlaufes demonstriert. Der Kopf aller Patienten wurde mit einem fest am Gerät angebrachten Laser exakt an der Frankfurter Horizontalen ausgerichtet. Danach wurden die Patienten aufgefordert, sich auf dem Sitz des Gerätes bequem zu positionieren und beide Beine stabil nebeneinander auf dem Fußboden zu platzieren, um bewegungsbedingte Artefakte zu minimieren. Außerdem wurden die Patienten aufgefordert, die Augen während der Aufnahme geschlossen zu halten, nicht zu schlucken und sich möglichst nicht zu bewegen, um auch hierdurch bewegungsbedingte Artefakte zu vermeiden. Auch sollten sie möglichst flach atmen. Besonders wichtig war es, darauf zu achten, dass alle Muskeln im Gesichtsbereich entspannt blieben und dass der Unterkiefer in der Ruheschwebe verharrte (mit entspannten Lippen).

Für die vorliegende Studie wurde das Gerät 3D Exam von Imaging Sciences verwendet, das durch die Firma KaVo Dental GmbH (Sitz: Biberach/Riß) vertrieben wird. Es handelt sich dabei um ein DVT mit einer Hochfrequenz-Röntgenquelle mit einem konstanten Potential von 120 kVp (Kilovolt peak) und gepulsten 3 – 8 mA. Das Strahlprofil entspricht einem cone-beam Profil mit einem Fokus, der bei 0,5 mm liegt und einer Bilderfassung, die durch eine einfache 360° Rotation erfolgt. Als Bilddetektor kommt ein amorpher Silizium-Flat-Panel-Detektor mit einer Fläche von 17 x 23 cm zum Einsatz. Es existiert eine Vielzahl von Scanmodi und Einstellmöglichkeiten, die je nach Fragestellung und Indikation variiert werden können. Die für diese Studie verwendete Einstellung ist für alle Patienten eine Scanzeit von 26,9 sec. bei einer Voxelgröße von 0,25x 0,25x 0,25 mm. Das Field of view (FOV, der abgebildete anatomische Abschnitt) wurde individuell eingestellt. Die effektive Bestrahlungsdauer liegt bei 7 sec. Die Röhrenspannung beträgt bei dieser Einstellung 120 kV und der Röhrenstrom 5 mA. Der Aufnahmemodus ist für das verwendete Patientengut, die prä- und

postoperativen Aufnahmen betreffend, identisch [54].

Die Zeit zwischen Umstellungsosteotomie und den postoperativen Aufnahmen (T1) betrug 5,4 bis 36,0 Monate, im Mittel  $14,1 \pm 6,4$  Monate. Diese Zeitspanne ist bei den untersuchten Patienten sehr unterschiedlich, da die Entscheidung des Zeitpunktes zur Entfernung des Osteosynthesematerials individuell durch den behandelnden Chirurgen gemeinsam mit dem Patienten gefällt wird. Die postoperativen Aufnahmen wurden nach den identischen Parametern und Patienteninstruktionen der präoperativen Aufnahmen durchgeführt.

### 3.3 Vorversuch - Probemessungen am Testkörper

Die in der vorliegenden Studie verwendete Messmethode wurde mittels zwei eigens hierfür hergestellten Testkörpern überprüft. Die Testkörper wurden am Computer in der freien Software Blender 2.7.1 modelliert und dann über ein 3D-Druckverfahren produziert. Bei dem verwendeten 3D-Drucker handelte es sich um einen Objet Eden 260V des Herstellers Stratasys. Die Testkörper wurden in der feinsten Auflösung „high quality mode“ mit einer Schichtdicke von 16 µm ausgedruckt. Bei dem verwendeten Material handelte es sich um Objet Vero-DentPlus MED 690 des Herstellers Stratasys.

Für die Produktion wurden folgende Maße festgelegt:

Testkörper 1, "PRAE":

- Durchmesser 12,00 cm
- Dicke 2,00 cm
- im unteren Teil der Scheibe waren drei halbkreisförmige Bohrungen zum späteren computergestützten Überlagern der beiden Testkörper angebracht

Testkörper 2, "POST":

- Durchmesser 12,00 cm
- Dicke 2,00 cm
- die obere Hälfte der Scheibe wurde im Computer 1,00 cm verschoben
- im unteren Teil der Scheibe waren drei halbkreisförmige Bohrungen zum späteren Überlagern der beiden Testkörper angebracht

Beide Testkörper wurden, identisch der DVT der Patienten, geröntgt und im Computer identisch eingelesen, als \*.stl-Dateien exportiert und überlagert.

### 3.4 Generierung von \*.stl-Dateien in Mimics

Exemplarisch ist auf den folgenden Seiten die Generierung von .stl-Dateien aus DICOM-Daten dargestellt. Das Verfahren wurde für die Daten der untersuchten Patienten sowie der Testkörper identisch durchgeführt.

- a. Zuerst müssen die direkt vom DVT ausgegebenen Daten eingelesen werden. In Abbildung 6 ist die Auswahl des die patientenspezifischen DICOM-Daten enthaltenden Ordners im "New project wizard" dargestellt.

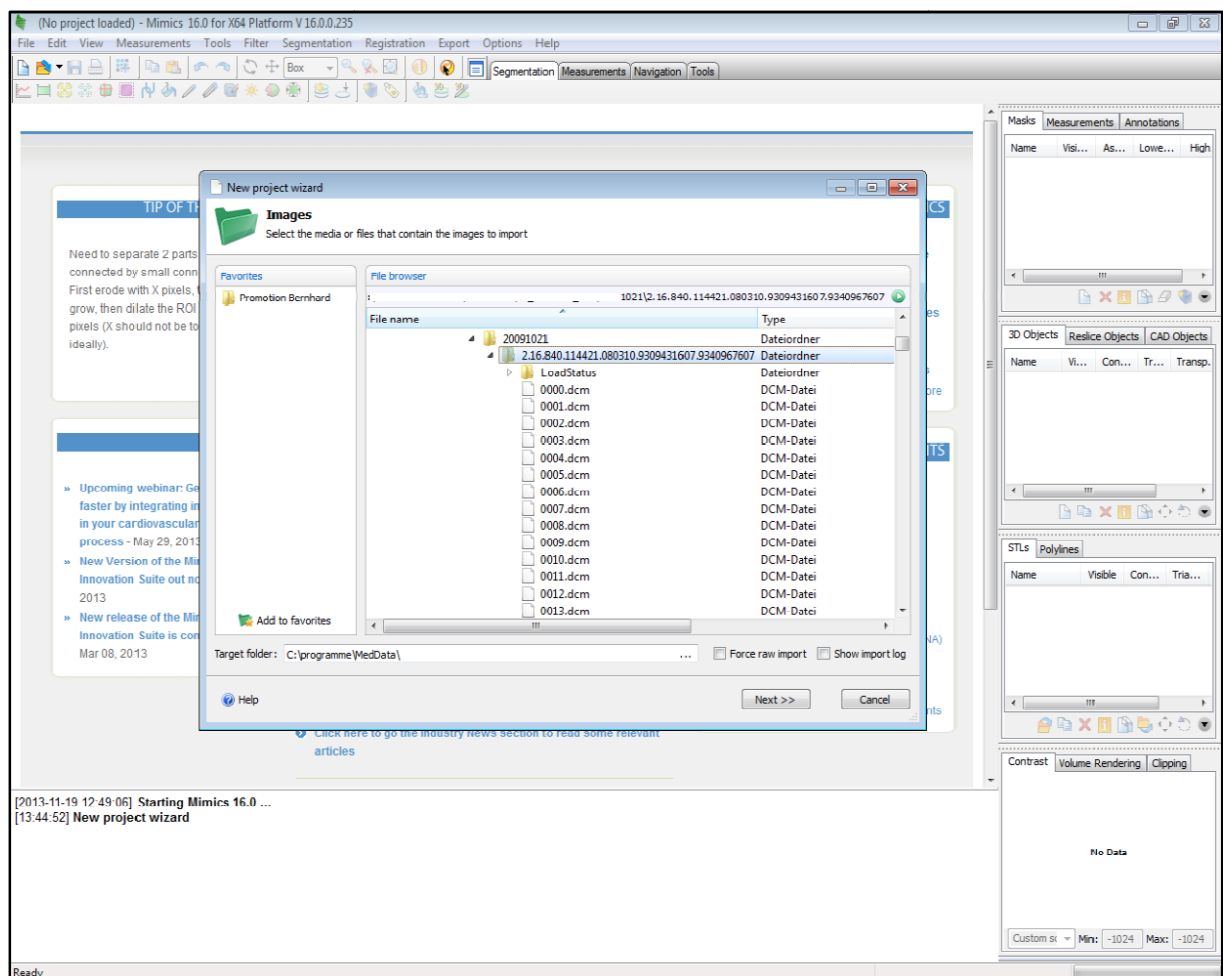


Abb. 6 Auswahl des die patientenspezifischen DICOM-Daten enthaltenden Ordners

- b. Im darauf folgenden Fenster erfolgt die Auswahl der Bildserie. Wie in Abbildung 7 dargestellt, muß die umzuwandelnde Bildserie durch das Setzen eines Hakens definiert werden.

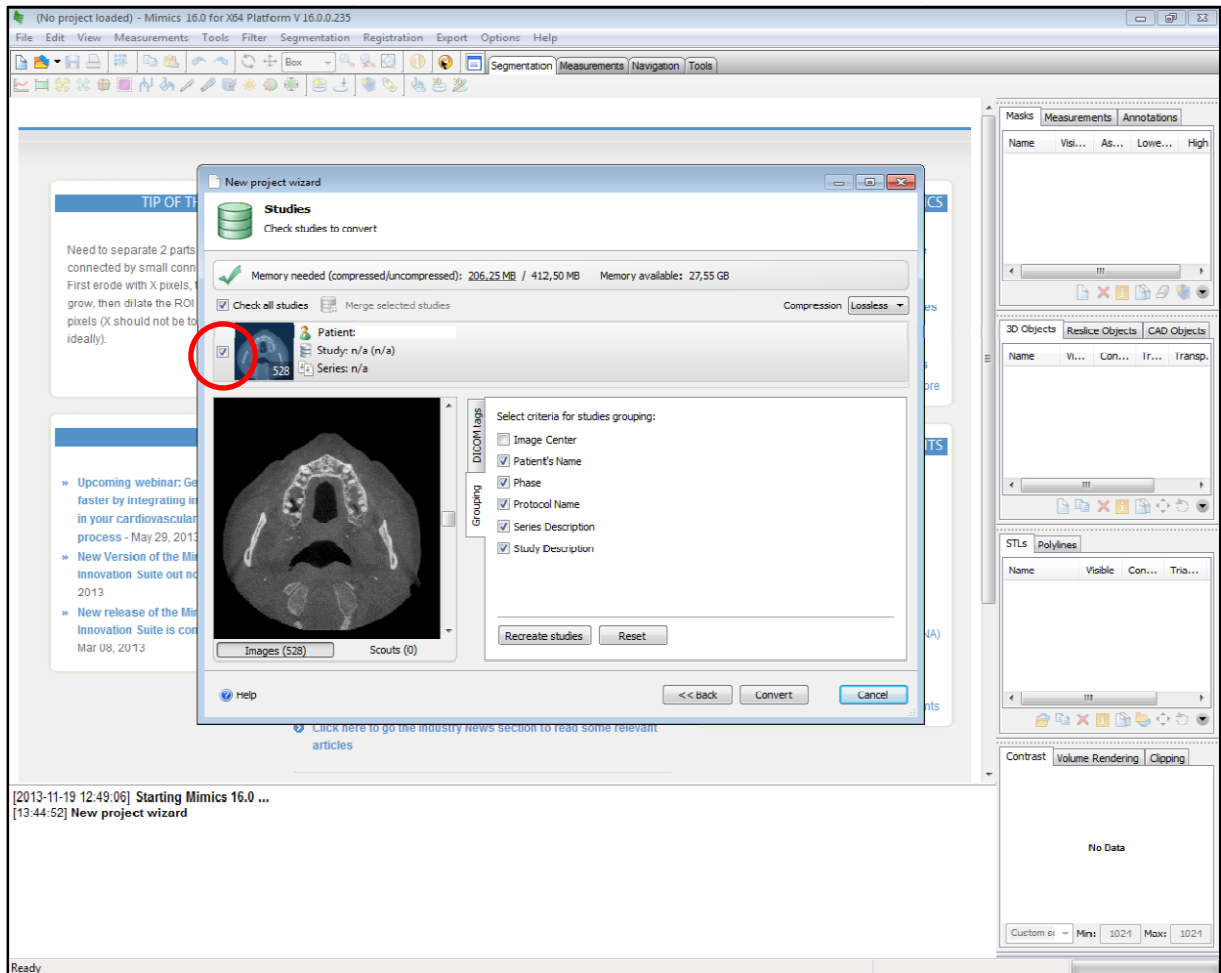


Abb. 7 Auswahl der Bildserie

- c. Zunächst erfolgt die einfache Ansicht verschiedener Schichten, wie sie in fast allen gängigen radiologischen Bildbetrachtungsprogrammen üblich ist. In Abbildung 8 ist die Programmansicht mit exemplarisch ausgewählten koronaren, axialen und sagittalen Schichtbildern dargestellt. Der Kontrast der Aufnahme kann über den Schieberegler in der unteren rechten Bildecke angepasst werden.

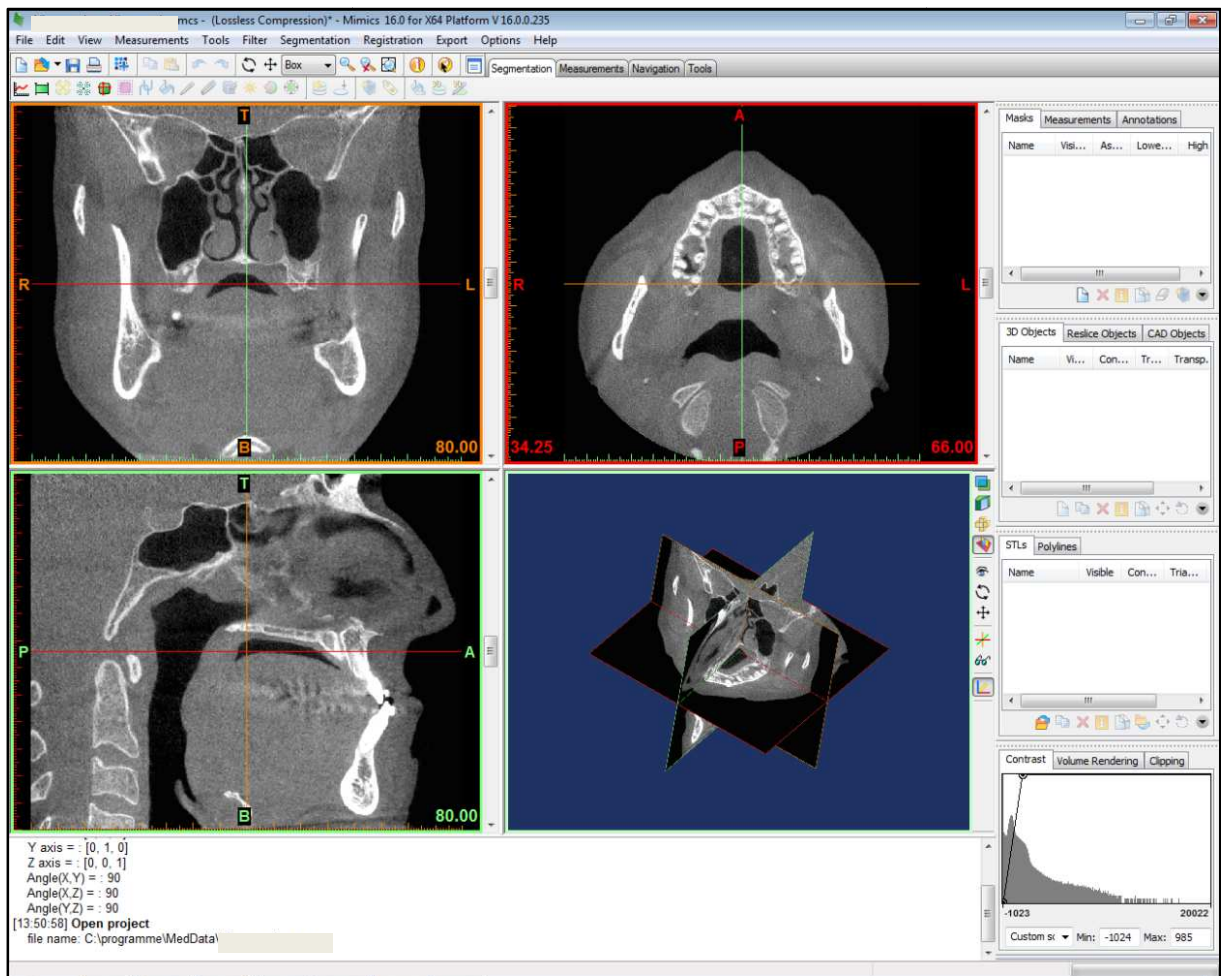


Abb. 8 Einzelne Schichten zum Durchscrollen



- d. Über den Menüpunkt "Segmentation ► Thresholding" kann nun zunächst aus den Schichten eine Maske erstellt werden, in der die nötigen Voxel zum Erstellen eines 3D-Objektes enthalten sind. Der Schwellenwert zum Erstellen der Maske wurde so festgelegt, dass im Übergang von Luft zu Weichgewebe bzw. Knochen keine Voxel angezeigt werden. Ein Übergangsbereich ist in Abbildung 9 durch einen roten Kreis markiert. Weiterhin ist die Anwahl eines Schwellenwertes für eine knochen-dichte Struktur dargestellt. Für die Testkörper wurde der Schwellenwert entsprechend variiert.

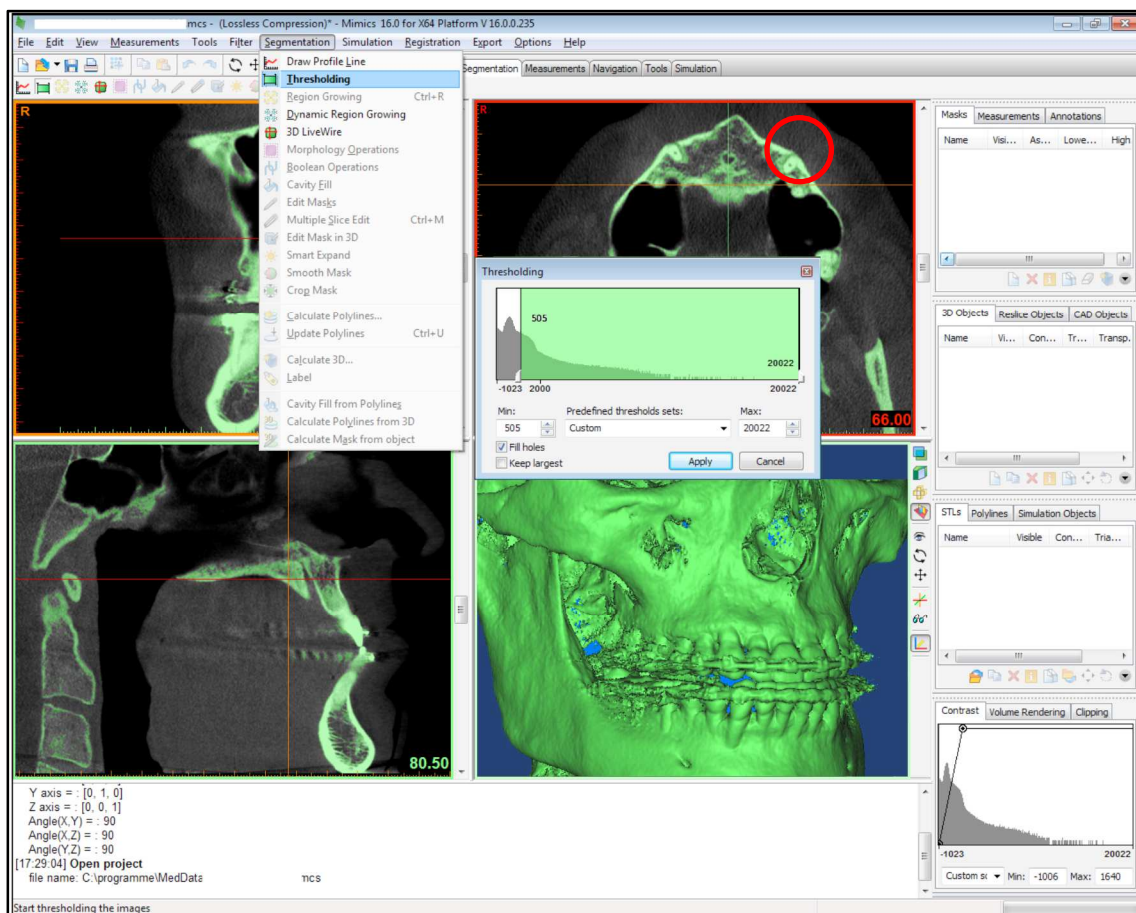


Abb. 9 Erstellen einer Knochenmaske

In Abbildung 10 ist die Programmansicht zur Erstellung eines 3D-Modells des Weichgewebes dargestellt. Der Schwellenwert muß entsprechend einer Weichgewebsstruktur angepasst werden. Bereiche, die Haut enthalten, werden zur Berechnung einer dreidimensionalen Maske verwendet. Der Übergang von Haut zu Luft ist in der Abbildung durch einen roten Kreis markiert.

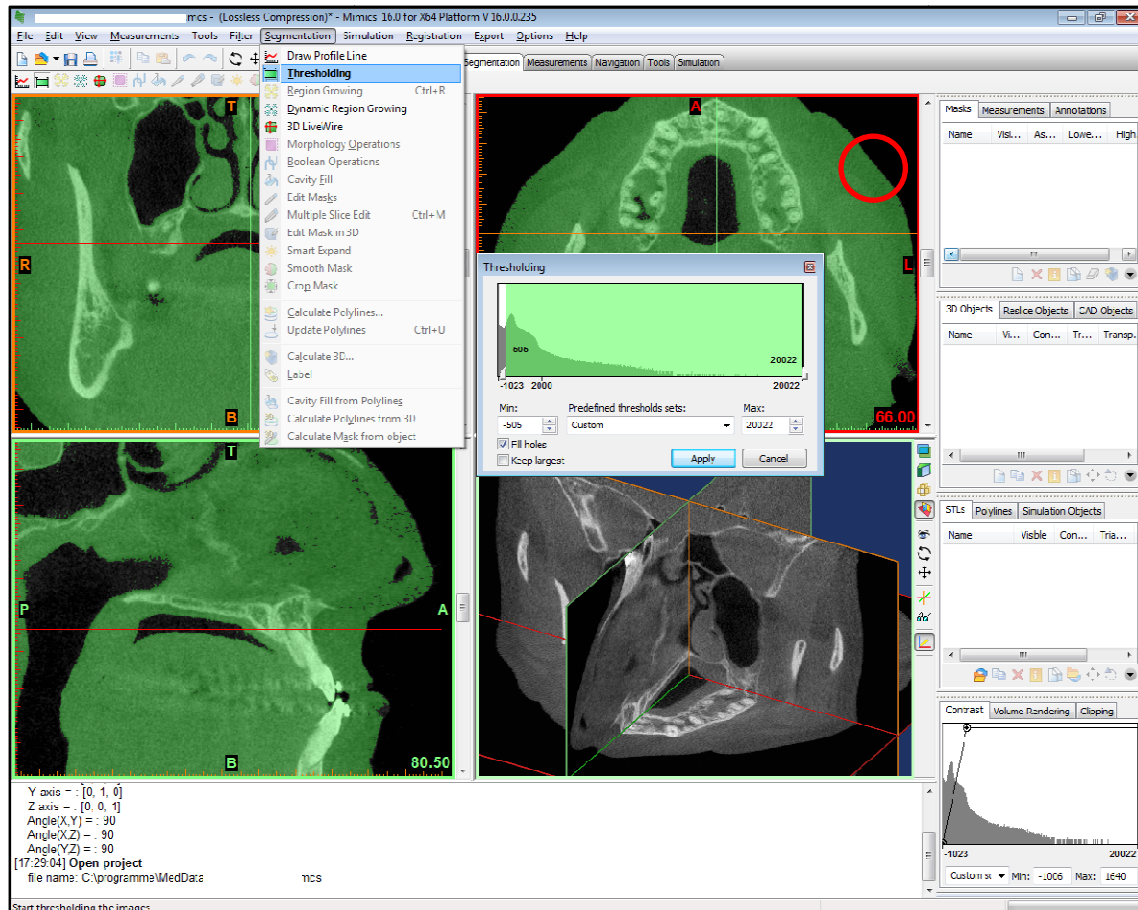


Abb. 10 Erstellen einer Weichgewebemaske

- e. Aus der erstellten Maske wird nun durch einen Rechtsklick auf die Maske unter dem Menüpunkt "Calculate 3D", wie in Abbildung 11 dargestellt, ein 3D-Objekt mit dem zuvor definierten Schwellenwert errechnet.

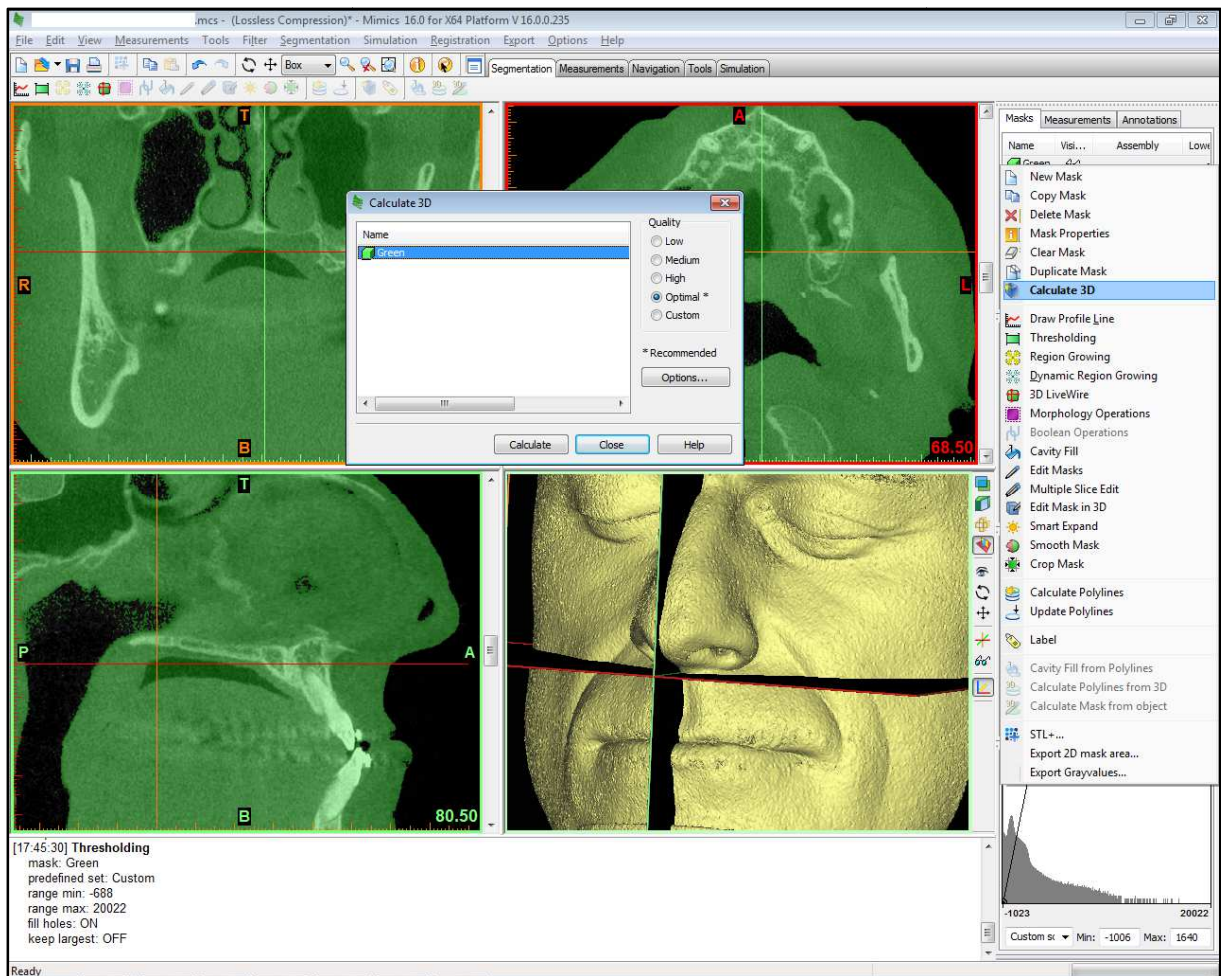


Abb. 11 Berechnung des 3D-Objektes aus einer Weichgewebmaske

Zum direkten Vergleich sind in Abbildung 12 drei Weichgewebsrekonstruktionen dargestellt, bei zweien wurde der Schwellenwert zum Erstellen der Maske nicht optimal festgelegt.

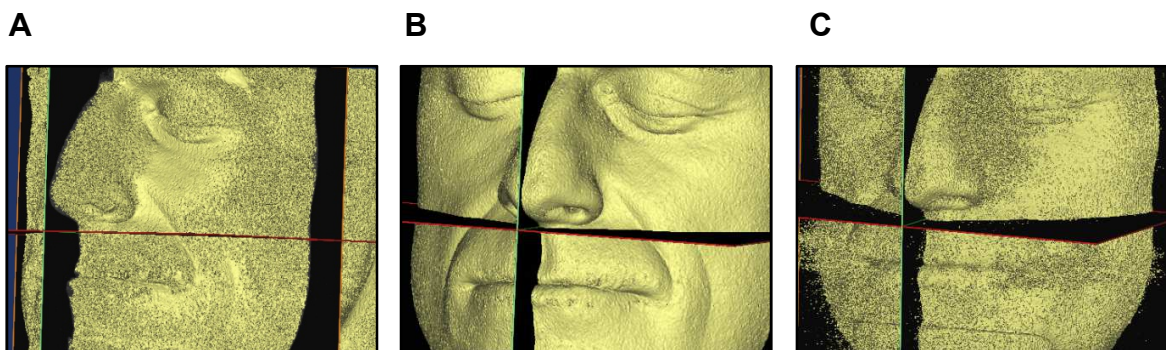
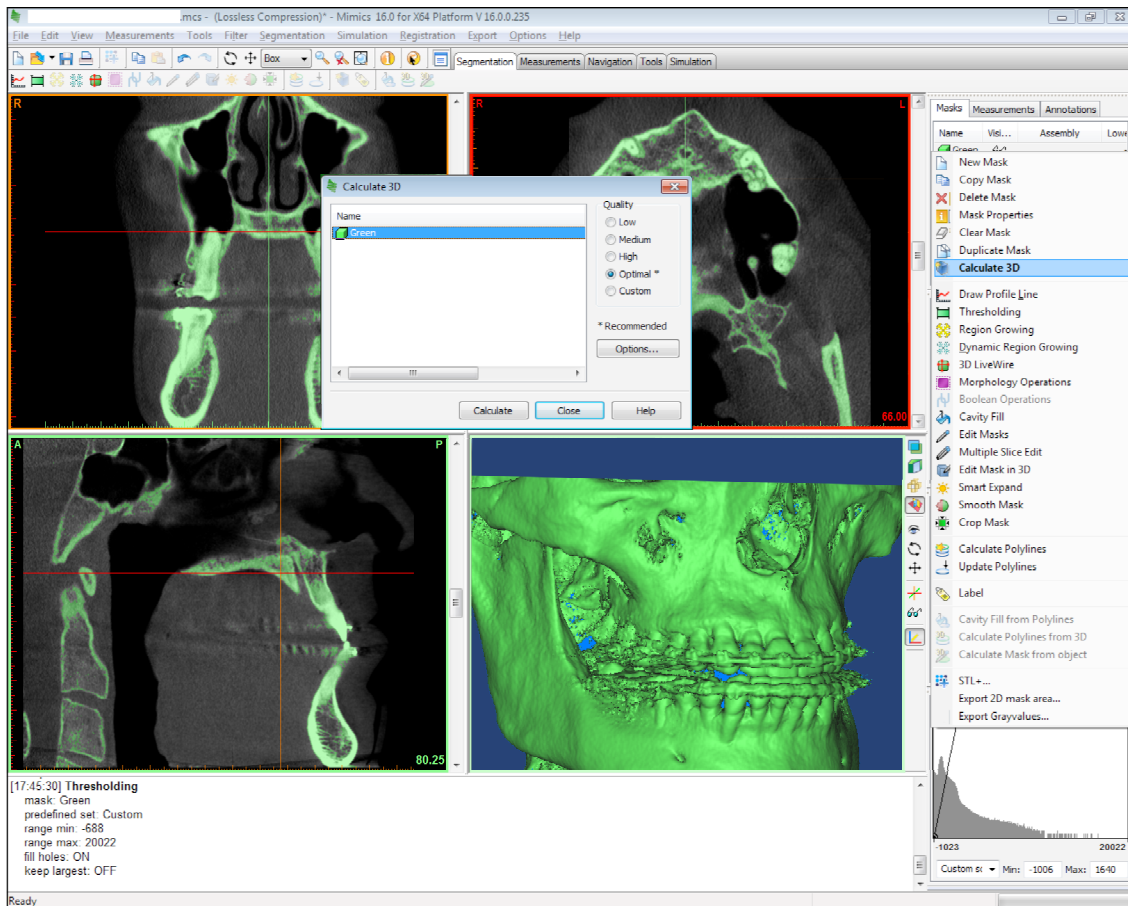


Abb. 12 Einstellen des Schwellenwertes A) zu hoch B) passend c) zu niedrig

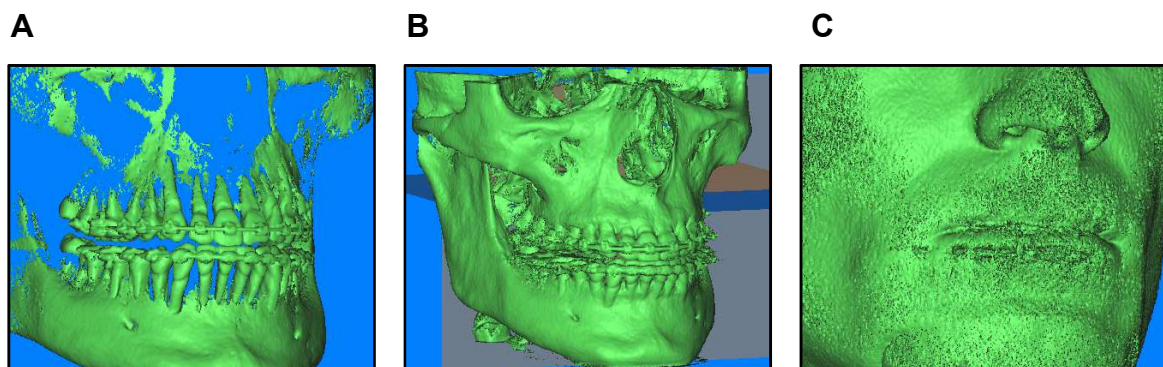


- f. Analog zur Herstellung einer Weichgewebsmaske wird nun durch einen Rechtsklick auf die Maske unter dem Menüpunkt "Calculate 3D", wie in Abbildung 13 dargestellt, ein knochendichtes 3D-Objekt errechnet.



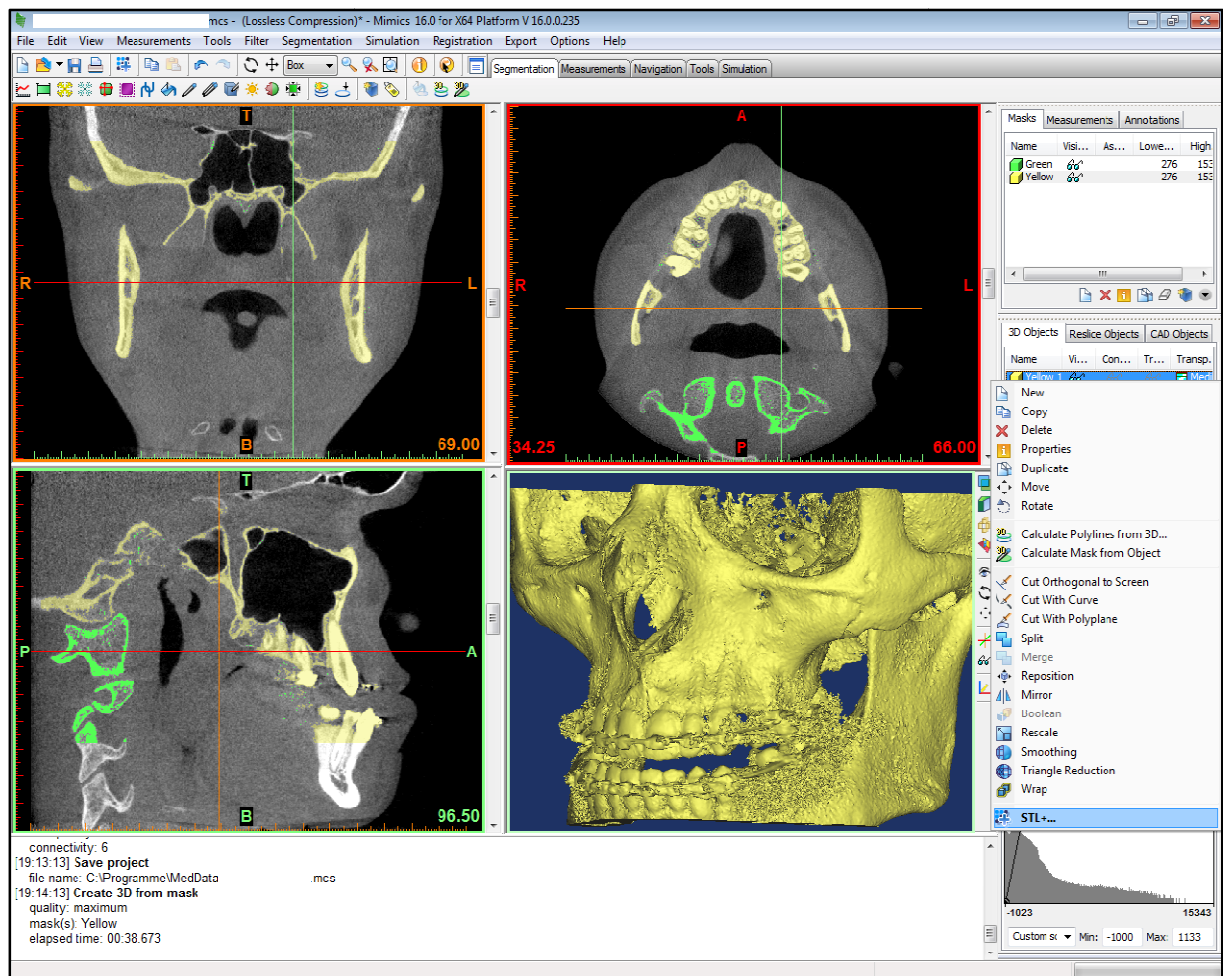
**Abb. 13** Berechnung des 3D-Objektes aus einer Knochenmaske

Zum direkten Vergleich sind in Abbildung 14 drei Knochenrekonstruktionen dargestellt, bei zweien wurde der Schwellenwert zum Erstellen der Maske nicht optimal festgelegt.



**Abb. 14** Einstellen des Schwellenwertes A) zu hoch B) passend c) zu niedrig

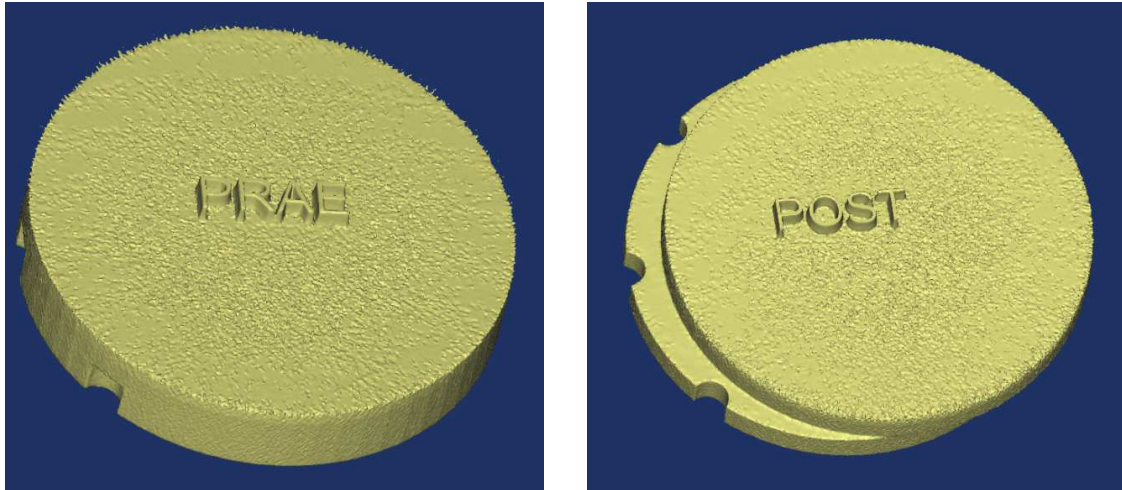
Darauf folgend wird das erzeugte 3D-Modell über die Auswahl der Option "STL +...", wie in Abbildung 15 ersichtlich, als \*.stl-Datei abgespeichert.



**Abb. 15 Erzeugung von \*.stl-Dateien**

Im Gegensatz zu DICOM-Daten können \*.stl-Daten in der für die aktuelle Studie verwendeten Software Geomagic Control direkt eingelesen und verschiedene Datensätze so miteinander verglichen und vermessen werden. Die Aufnahmen des gesamten Patientengutes werden somit, gesplittet nach T0 (präoperativ) und T1 (postoperativ), in \*.stl-Daten umgewandelt.

Die 3D-Modelle der Testkörper wurden entsprechend der vorliegenden Beschreibung generiert. In Abbildung 16 ist eine Ansicht der der Herstellung zugrunde liegenden 3D-Modelle dargestellt. In Abbildung 17 sind die fertigen, mittels 3D Drucker produzierten Testkörper zu sehen.



**Abb. 16 Die Testkörper nach Erstellung der 3D-Modelle in Mimics**



**Abb. 17 Die fertig gedruckten Testkörper**

### 3.5 Messverfahren zur Bestimmung der sagittalen Verlagerungsstrecke der Maxilla in Geomagic Qualify

Die Überlagerungen der prä- und postoperativen DVT-Aufnahmen wurden mit dem Programm Geomagic Qualify durchgeführt. Die dazu nötige Generierung von \*.stl-Dateien erfolgt vorher im Programm Mimics. Der Messvorgang wird auf den folgenden Seiten anhand von Screenshots exemplarisch dargestellt. Das Messprocedere wurde für jeden Patienten exakt identisch vorgenommen:

- a. Zwei im Programm Mimics generierte Knochenmodelle (\*.stl-Dateien) müssen über die Import-Funktion im Programm Geomagic Control gleichzeitig geladen werden. Dies geschieht wie in Abbildung 18 gezeigt durch Anwahl von "Import" und die anschließende Auswahl beider Dateien.

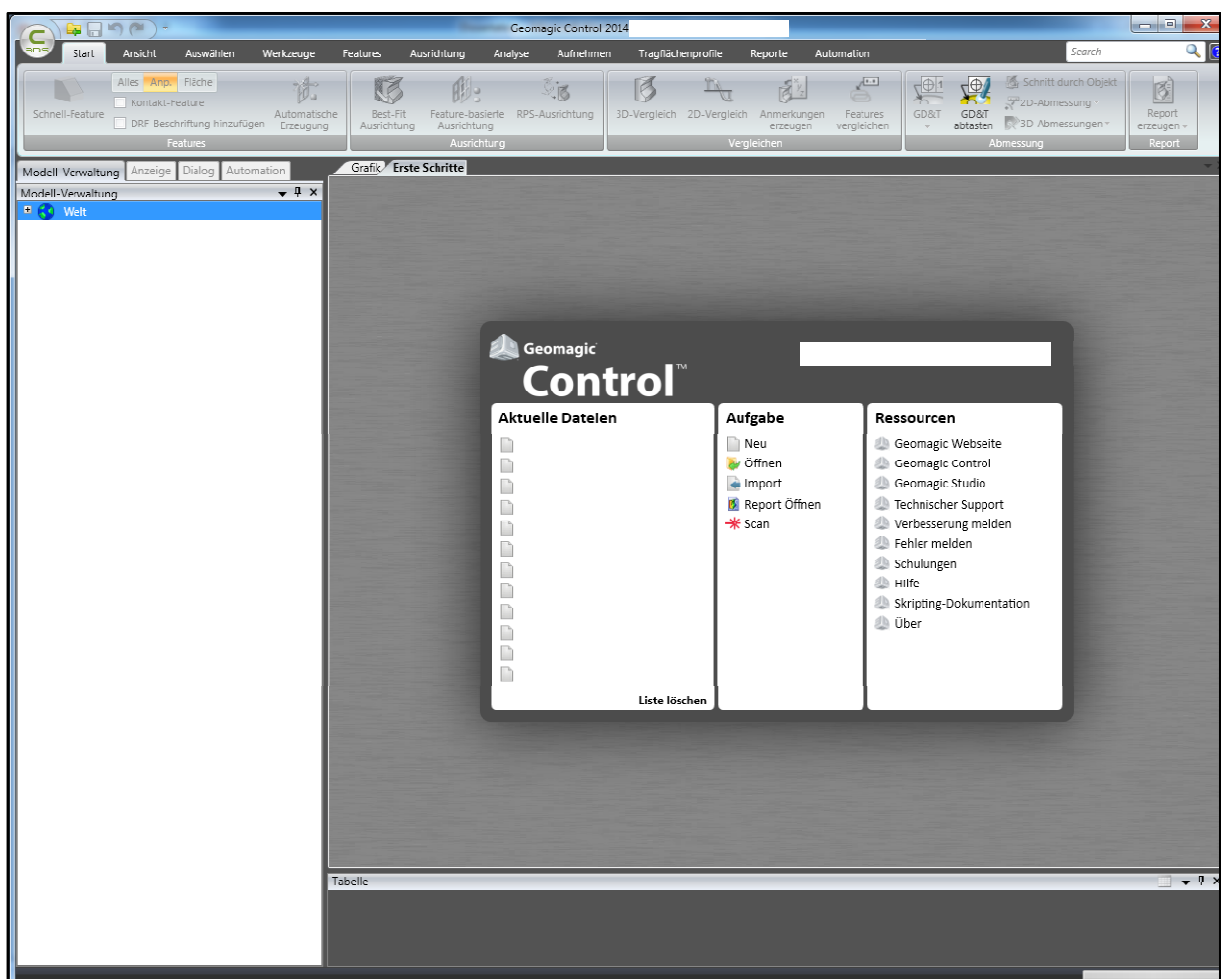


Abb. 18 Importieren der zu vergleichenden \*.stl-Dateien über den Button "Import"



- b. Sodann werden beide Dateien als 3D-Objekte angezeigt. Zum späteren 3D-matching (Überlagern) der Modelle muss, wie in Abbildung 19 gezeigt das präoperative Modell als Referenzmodell und das postoperative Modell als Testmodell definiert werden.

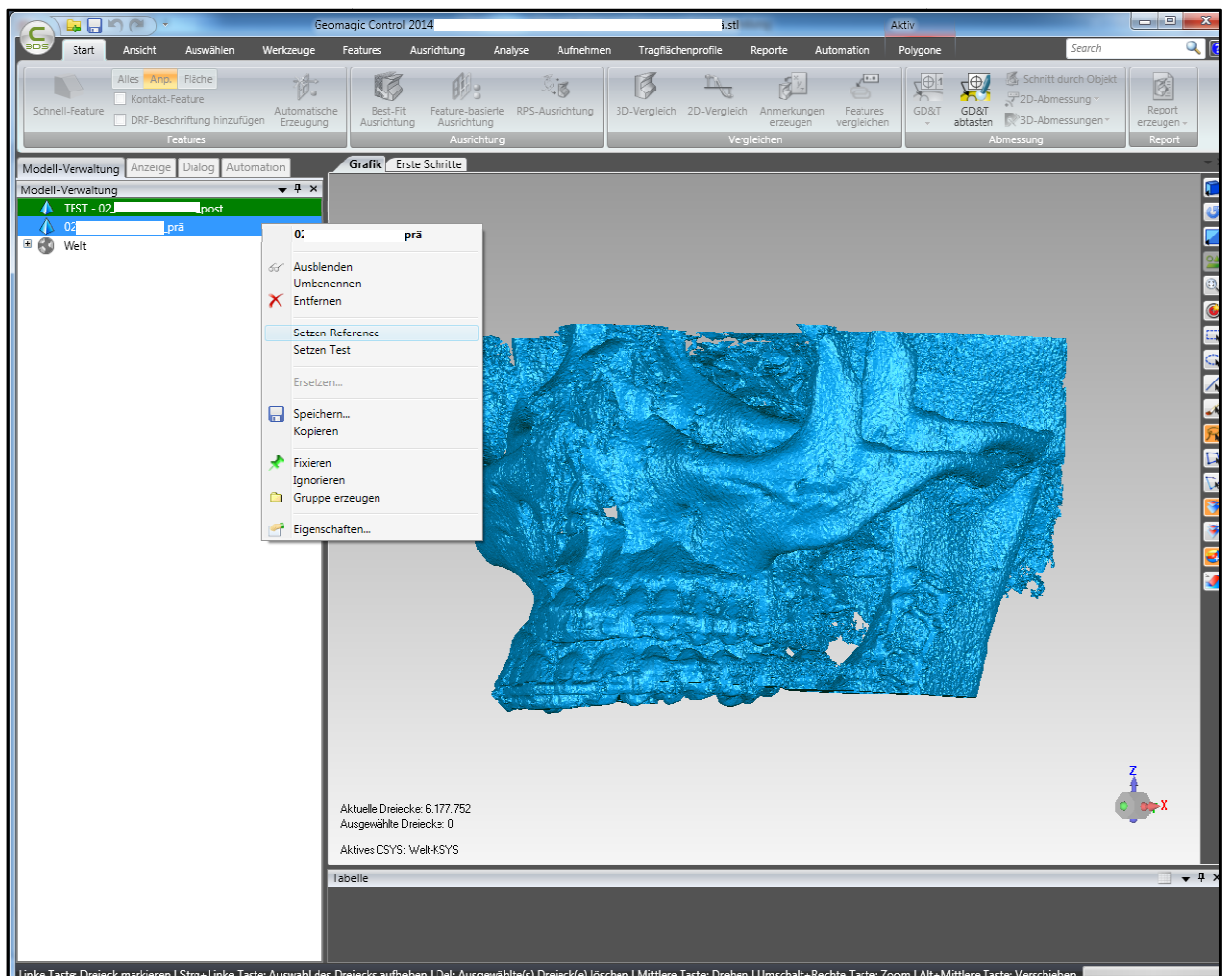


Abb. 19 Auswahl der 3D-Modelle als "Reference" und "Test"



- c. Über die Auswahl "N-Punkt-Ausrichtung" werden beide Modelle anhand von mindestens drei gut identifizierbaren Punkten (z. B. Foramina, charakteristische Knochenstrukturen, o.Ä.) grob von Hand überlagert. Dadurch wird die Exaktheit der späteren automatischen Überlagerung enorm verbessert und die Rechenzeit deutlich reduziert. In Abbildung 20 sind drei Punkte im Bereich des rechten und linken Infraorbitalrandes und des linken Kiefergelenkes rot eingekreist markiert.

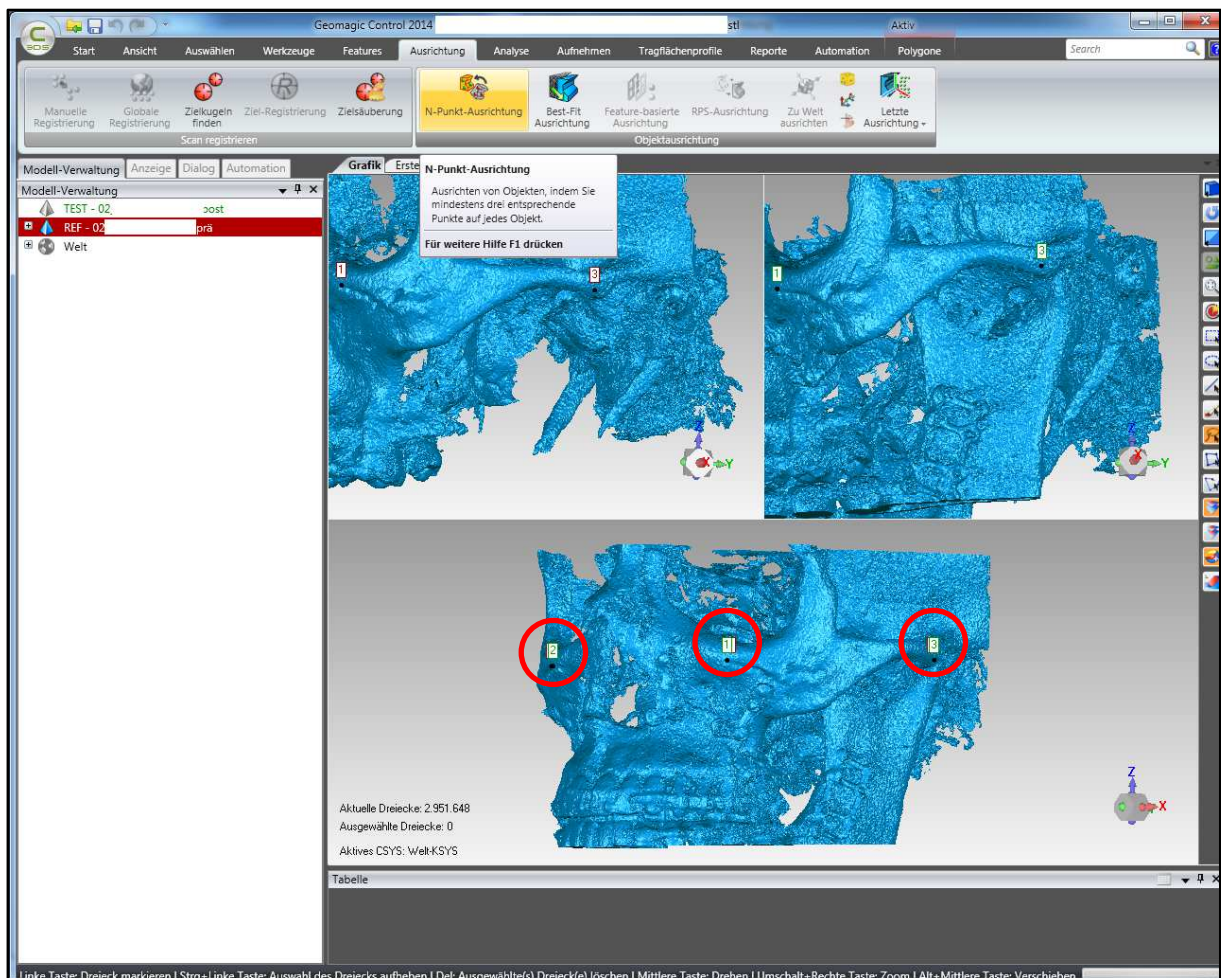
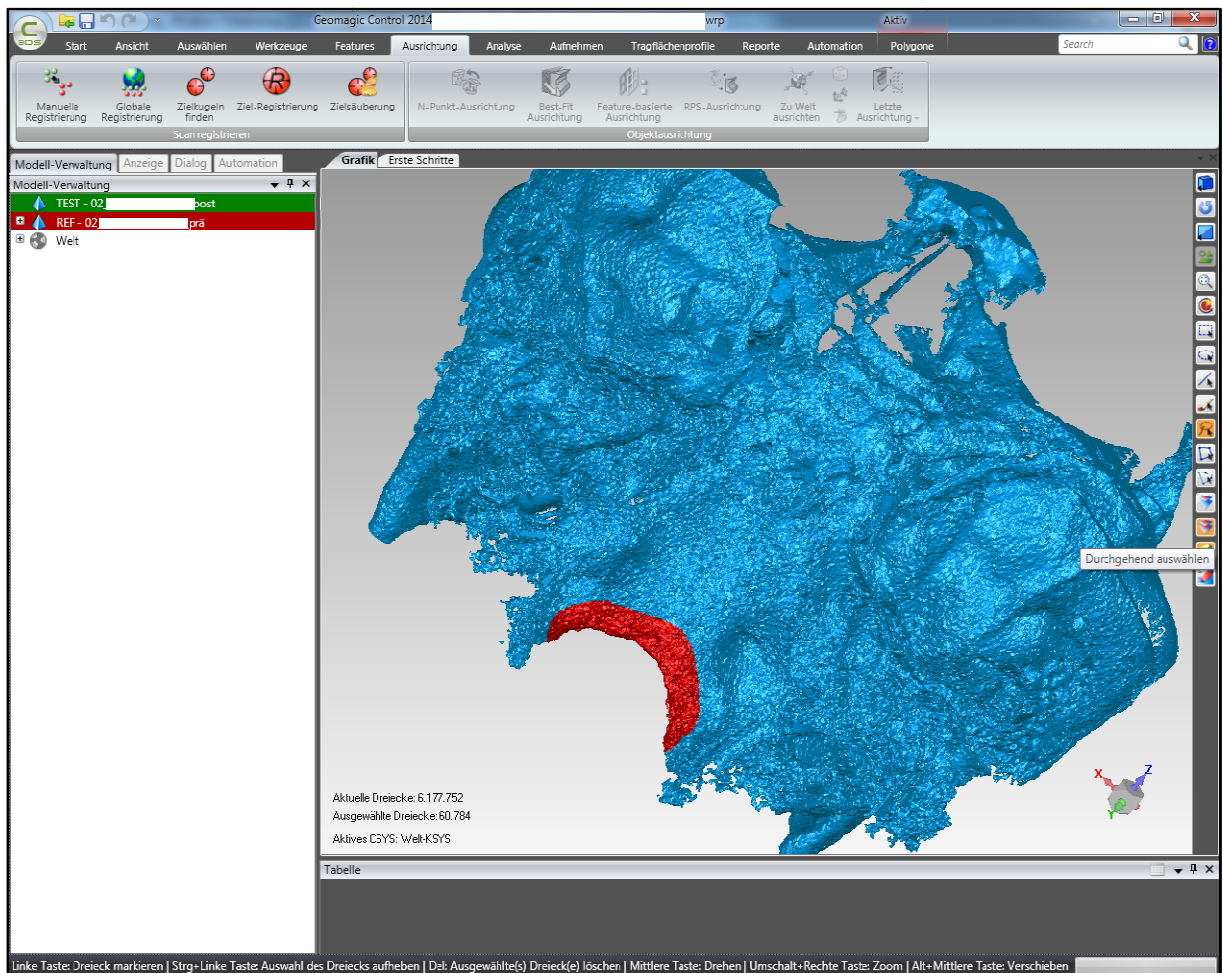


Abb. 20 "N-Punkt Ausrichtung" der Modelle

d. Sodann werden im linken Programmteil beide (vorausgerichteten) Modelle zugleich ausgewählt und über das Werkzeug "Durchgehend auswählen" ein gut abgrenzbarer Bereich um das Foramen magnum markiert. In Abbildung 21 ist dieser Bereich rot dargestellt. Die darauf folgende Überlagerung mittels der Schädelbasis als Referenz wurde von Cevitanes et al. publiziert und hat sich als geeignet erwiesen [15]. Der Vorteil dieser Methode ist

- a) eine sehr gute Kongruenz der prä- und postoperativen Aufnahmen und
- b) eine Stabilität der Schädelbasis, die durch kieferorthopädisch-kieferchirurgische Maßnahmen nicht beeinflusst wird [2, 10, 91].



**Abb. 21 Auswahl eines Referenzbereiches um das Foramen magnum**

- e. Unter dem Menüpunkt "Best-fit Ausrichtung" werden beide Modelle wie in Abbildung 22 gezeigt, jetzt am ausgewählten Bereich ausgerichtet und somit am Foramen magnum kongruent überlagert.

Die Testkörper wurden an den drei formkongruenten Bohrungen im hinteren Bereich überlagert.

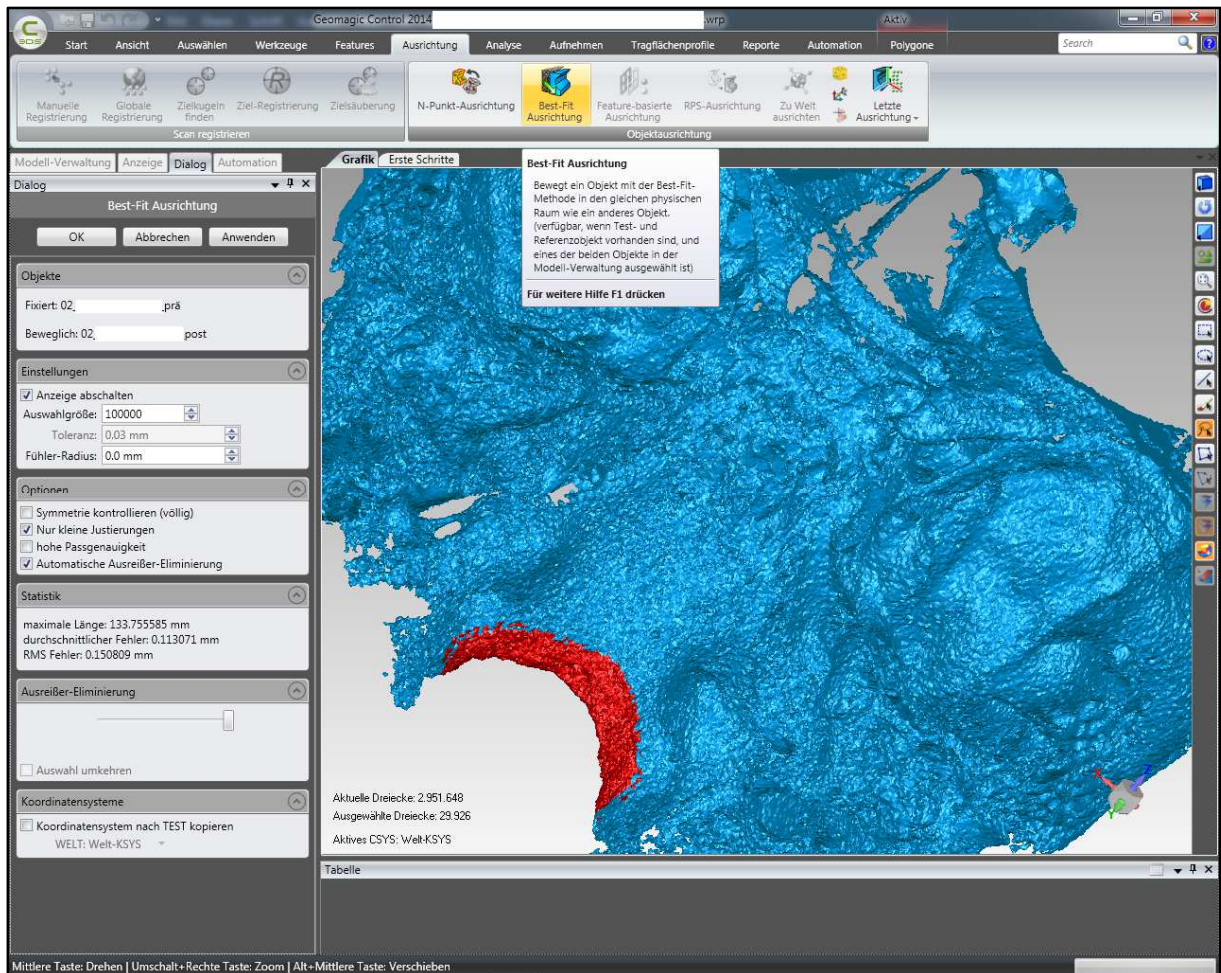


Abb. 22 Überlagerung am ausgewählten Bereich um das Foramen magnum



- f. Unter dem Menüpunkt "Analyse ► 3D-Vergleich" kann nun der Unterschied zwischen beiden Modellen farbcodiert illustriert werden. Durch die vorherige Überlagerung am Foramen magnum ist nun schon in der falschfarben-codierten Darstellung in Abbildung 23 klar sichtbar, dass sich außer dem direkten Bereich um die Maxilla nichts verändert hat. Die Bereiche rechts und links um die Apertura piriformis sowie die Crista zygomaticoalveolaris sind aufgrund der in diesem Bereich eingebrachten Osteosyntheseplatten ebenfalls farbcodiert dargestellt.

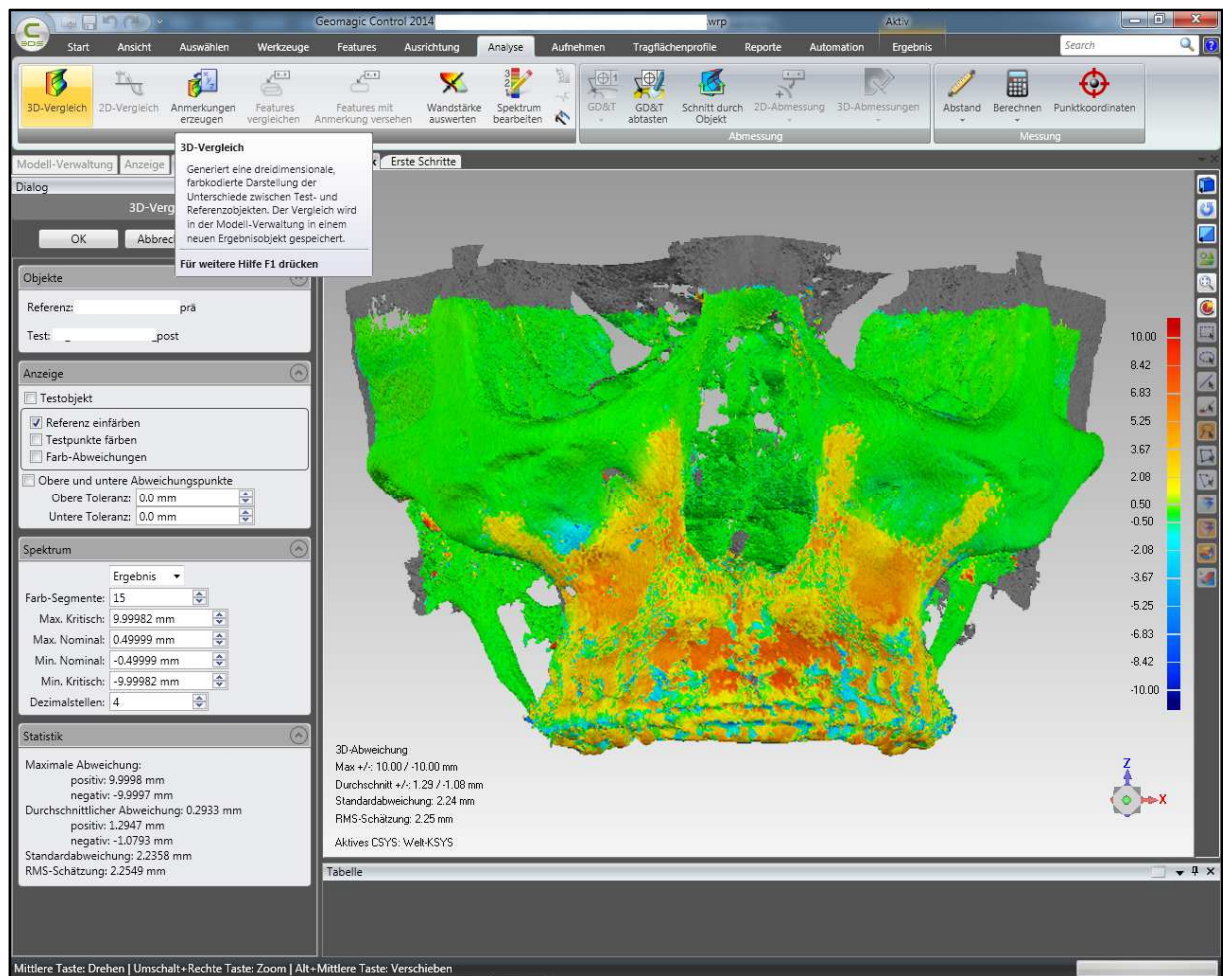


Abb. 23 3D-Vergleich zwischen einer prä-und post-OP-Knochenrekonstruktion

- g. Zur exakten metrischen Ablesbarkeit der sagittalen Verlagerungsstrecke ist ein anschließender 2D-Vergleich notwendig. Dazu erfolgt die Auswahl des Menüpunktes "2D-Vergleich". Im 2D-Vergleich wird in einer festgelegten Ebene die Differenz in Millimeter zwischen Punkten, die die Software als identisch identifiziert, in Form einer Nadeldarstellung angezeigt. Als identische Ebene wurde für alle Messungen eine Ebene parallel zur Frankfurter Horizontalen durch den A-Punkt eingefügt. Die Ebene ist exemplarisch in Abbildung 24 gezeigt. Die Frankfurter Horizontale wurde wie unter 3.2 beschrieben, schon bei Erstellung der digitalen Volumentomogramme als Referenzebene definiert. Die Ebene durch die (runden) Testkörper wurde als Horizontale entlang des Radius festgelegt.

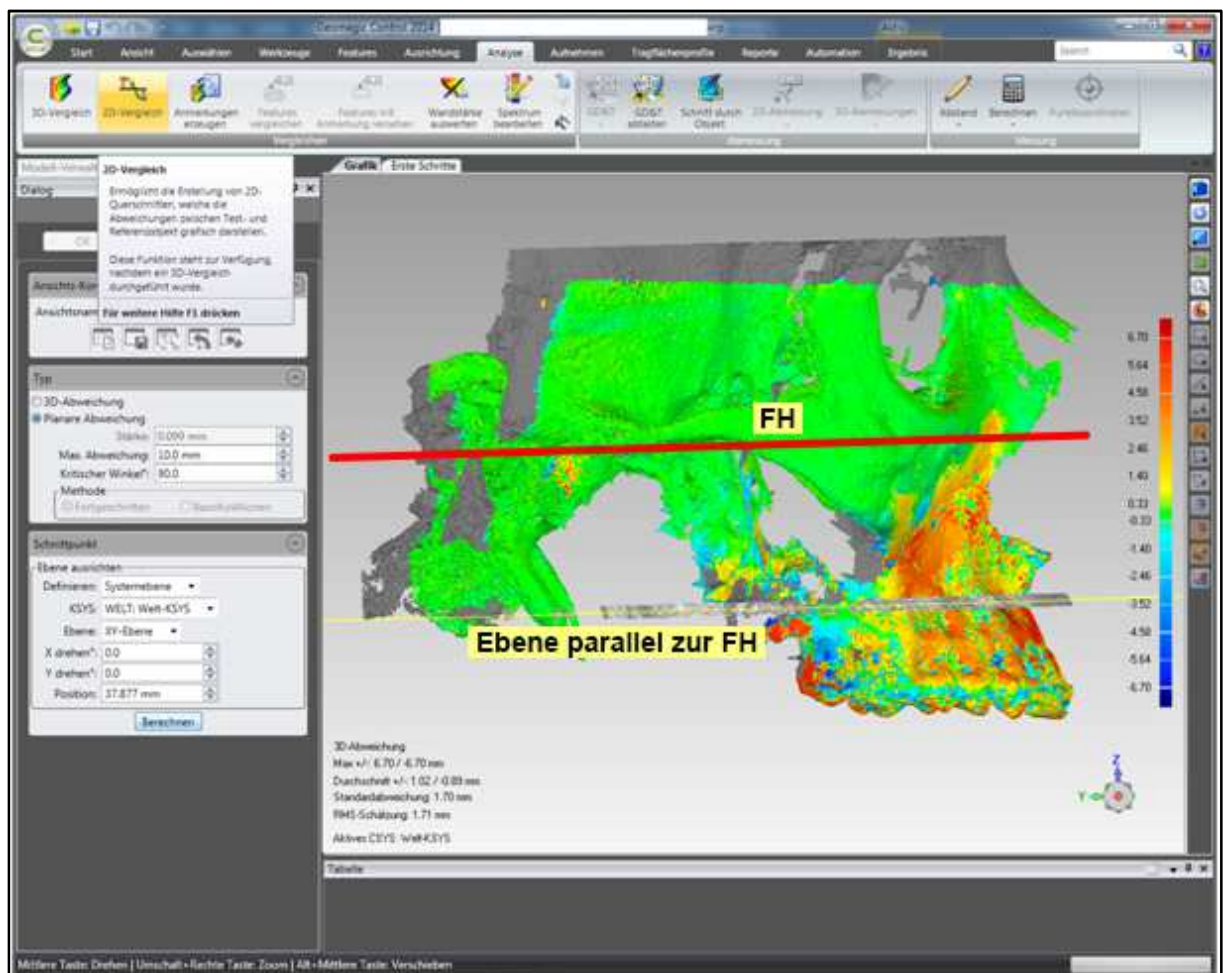


Abb. 24 Festlegen einer Ebene parallel zur FH für den 2D-Vergleich

- h. In der erwähnten, daraufhin berechneten Nadelansicht ist eindeutig die Verlagerung in sagittaler Richtung in Millimetern ablesbar. In Abbildung 25 sind 5388 Nadeln erkennbar, an welchen Verlagerungstrecken in verschiedene Richtungen abgelesen werden können. Es wurden an vier Nadeln in den Regionen 13,11,21,23 Verlagerungswerte registriert und gemittelt als metrischer Wert der Verlagerungstrecke der Maxilla in der Sagittalebene verwendet. Der gemittelte Wert wird fortan als „Front“ bezeichnet.

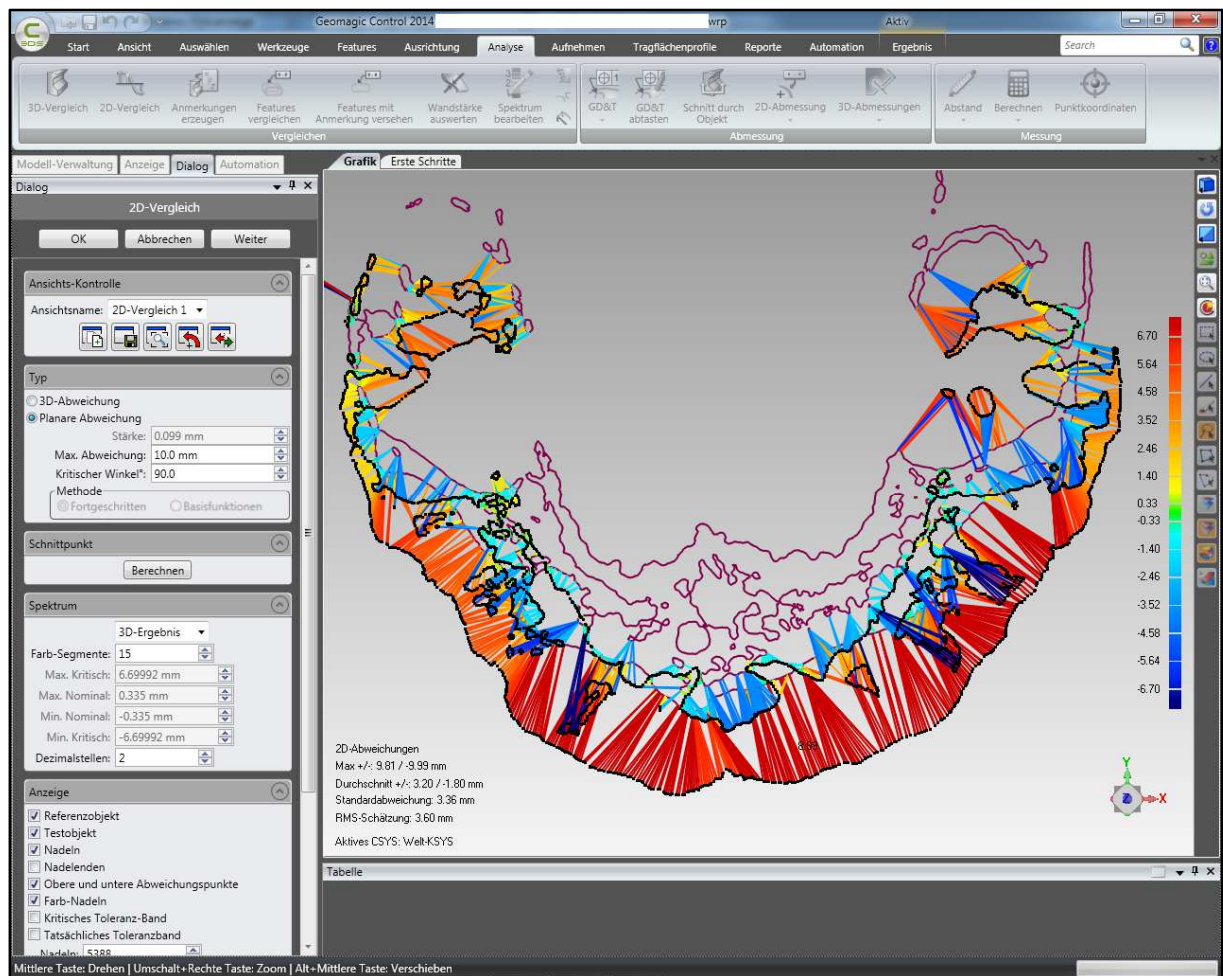


Abb. 25 Visualisierung der sagittalen Verlagerung in mm

In der daraufhin berechneten Nadelansicht für die mittels DVT erfassten Testkörper ist eindeutig die Verlagerung der oberen Hälfte in Millimetern ablesbar. In Abbildung 26 (A) sind 2549 Nadeln erkennbar, an welchen Verlagerungsstrecken in verschiedene Richtungen abgelesen werden können. Es wurden an vier Nadeln im vorderen Bereich (der Region „Front“) Verlagerungswerte abgelesen und gemittelt als metrischer Wert der Vorverlagerung des Testkörpers verwendet.

In Abbildung 26 B und C sind zwei Vergrößerungen der Nadelansicht aus den vorderen Bereichen abgebildet, die Verlagerungsstrecke an den einzelnen ausgewählten Nadeln beträgt 10,00 mm.

Es konnte festgestellt werden, dass das beschriebene in der vorliegenden Studie verwendete Messverfahren reproduzierbar und exakt abläuft und für unsere Fragestellung geeignet ist. Es konnte bewiesen werden, dass mit der verwendeten Methode ein definierter Vorschub innerhalb eines Testkörpers reproduzierbar und mit einem Fehler von 0 im Computer wiedergegeben werden kann.



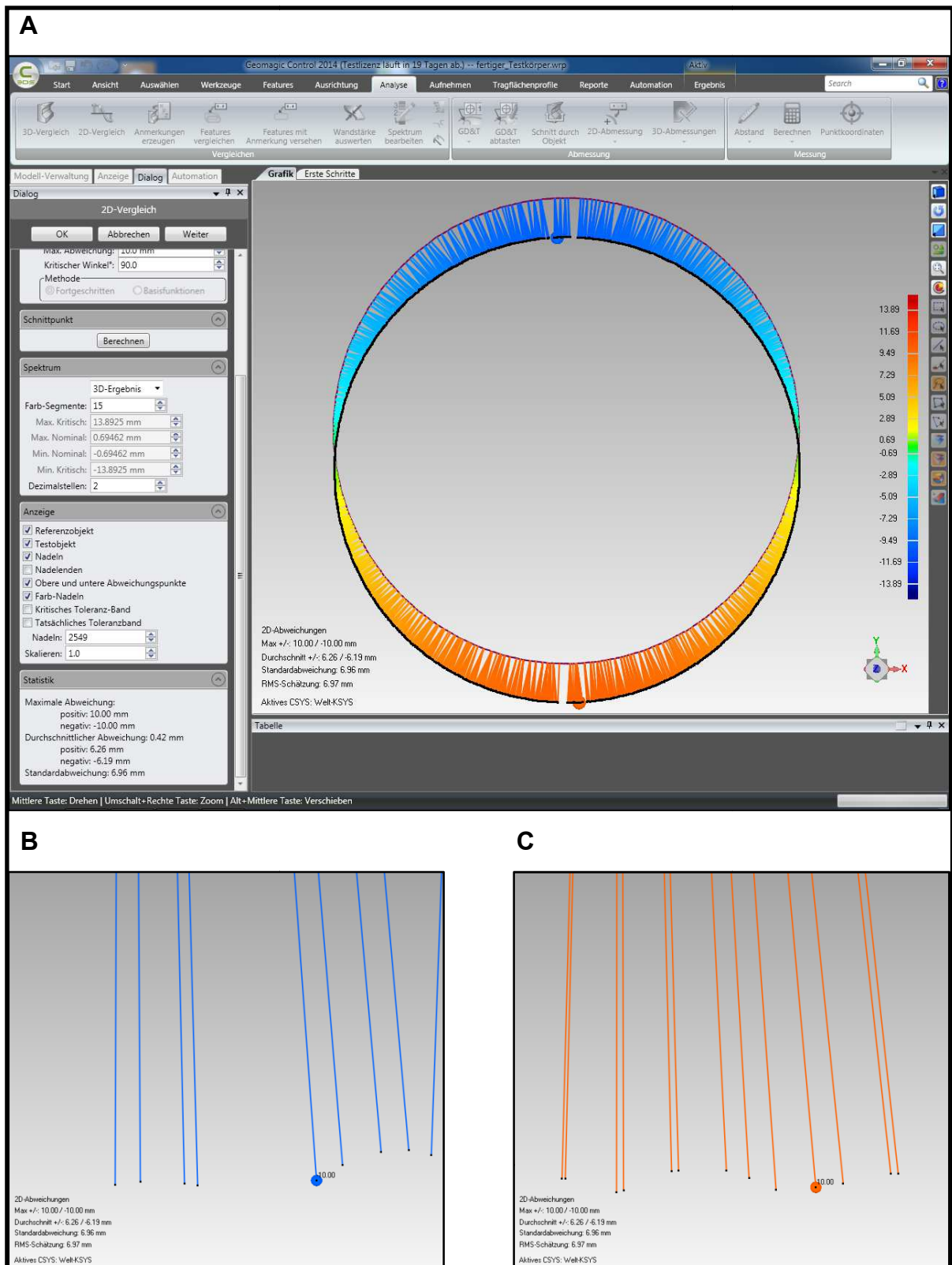


Abb. 26 Die überlagerten Modelle der geröntgten Testkörper; A-C



### 3.6 Auswahl der Messpunkte im Weichgewebe

Für die Auswahl der Messpunkte galten folgende Kriterien:

1. eine gute Reproduzierbarkeit
2. der Fragestellung entsprechende Messpunkte

Es wurden folgende Messpunkte festgelegt:

- **Albr**: tiefster Punkt am Übergang Nasenflügel rechts zur Wange zur Luft in der Sagittalebene (Alar Basis rechts)
- **Albl**: tiefster Punkt am Übergang Nasenflügel links zur Wange zur Luft in der Sagittalebene (Alar Basis links)
- **Alr**: weiteste transversale Ausdehnung des rechten Nasenflügels (Alar rechts)
- **Al**: weiteste transversale Ausdehnung des linken Nasenflügels (Alar links)
- **Sn**: Subnasale, Übergang Nasensteg zur Oberlippe
- **Ls**: Labrale superius, Oberlippenkante (Übergang Lippenrot – Lippenweiß)
- **Co**: Columella-Tangentenpunkt, Nasensteg

Die verwendeten Messpunkte, -strecken und -winkel sind auf den folgenden zwei Seiten in den Abbildungen 27-29 aus verschiedenen Distanzen dargestellt.

Die angewandten Messpunkte bzw. sich daraus ergebenden Messstrecken finden auch in der Literatur verschiedentlich Anwendung und haben sich als geeignet erwiesen [26, 27, 62, 82, 88, 111].

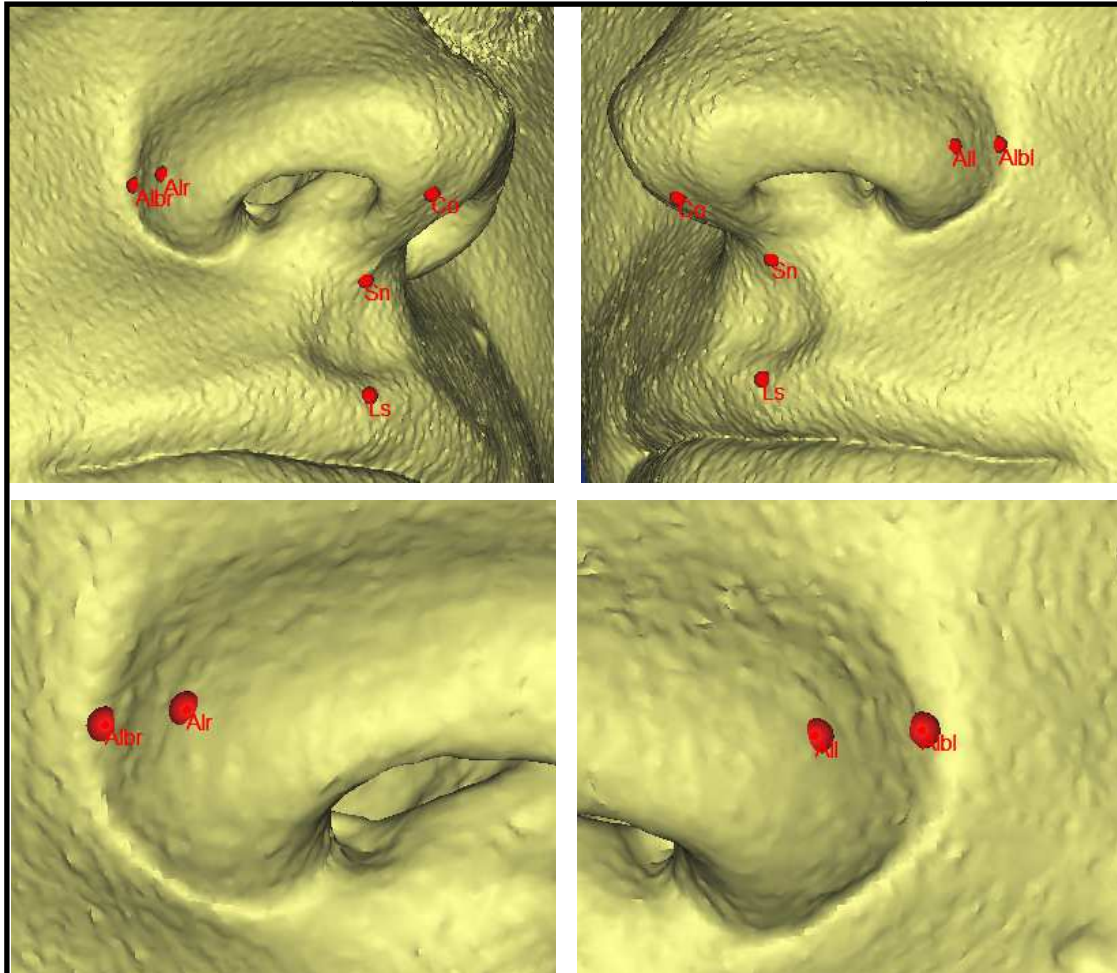


Abb. 27 Darstellung der Weichteilpunkte

Außerdem wurde der Nasolabialwinkel bestimmt. Dieser verläuft, wie exemplarisch in Abbildung 28 dargestellt, als Winkel zwischen den Punkten Ls (Labrale superius), Co (Columella-Tangentenpunkt) und Sn (Subnasale) [62].

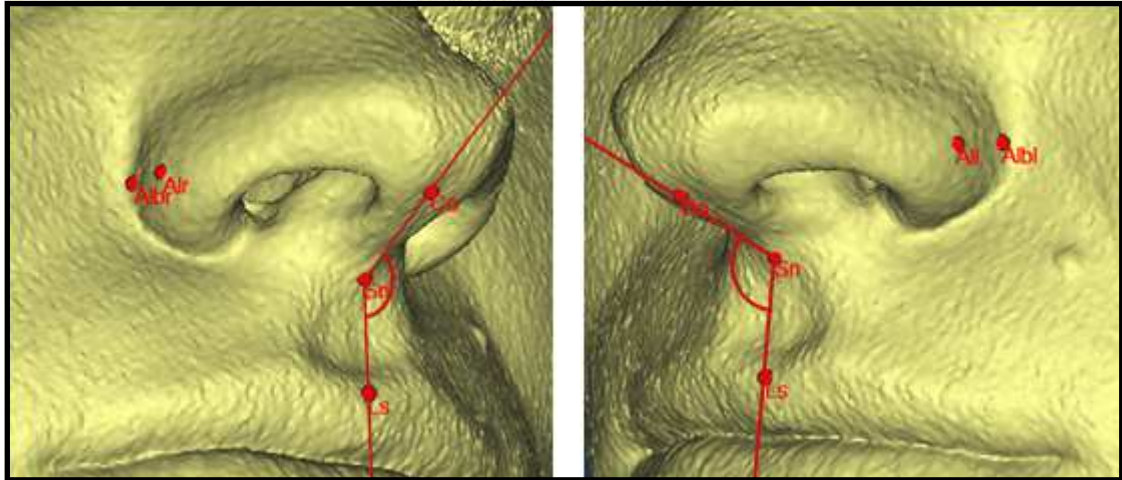


Abb. 28 Exemplarischer Verlauf des Nasolabialwinkels [62]

Die in der Studie vermessenen Strecken sind in Abbildung 29 farbiger dargestellt. Die Messstrecken im Weichgewebe ergeben sich durch die oben festgelegten Punkte:

- von Albr zu Albl: Strecke Alb (Nasenflügelbasisbreite)
- von All zu Alr: Strecke AI (Nasenflügelbreite)

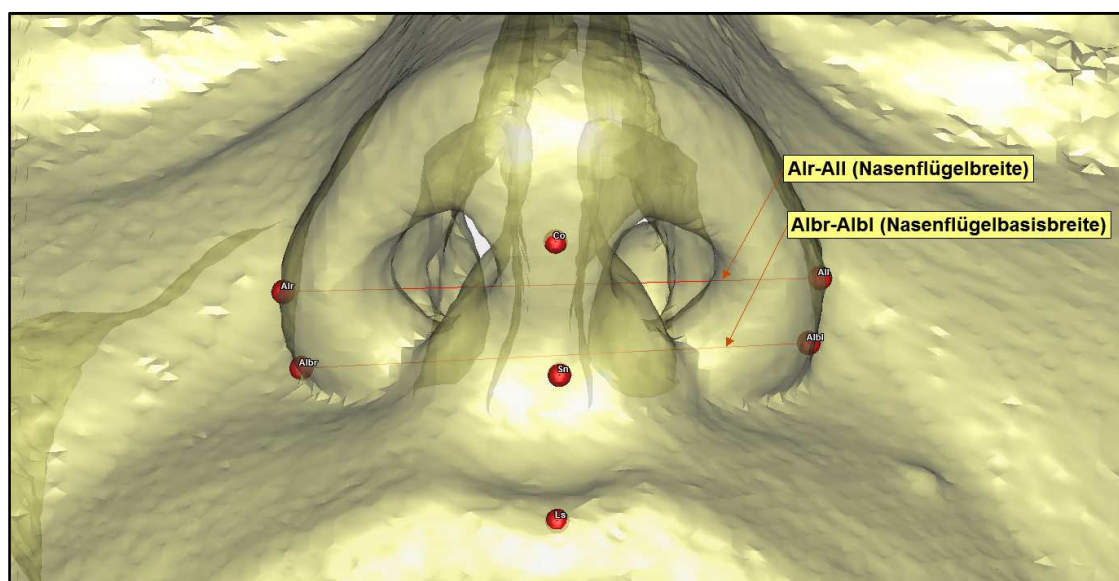


Abb. 29 Exemplarische Darstellung der Messstrecken

### 3.6.1 Vermessung des Weichgewebes in Mimics

Das Setzen der Messpunkte kann entweder direkt am 3D-Modell oder innerhalb der einzelnen Schichten im Abstand von 0,25 mm vorgenommen werden. Die Messpunkte wurden im Vorfeld als einfaches Template definiert. Es wurde festgelegt, zwischen welchen Punkten welche Messung erfolgen soll (Strecke / Winkel).

Die direkte Ausgabe der gemessenen Werte ist in Abbildung 30 (rote Ellipse) dargestellt. Die gemessenen Werte werden in Form einer Excel-Tabelle exportiert.

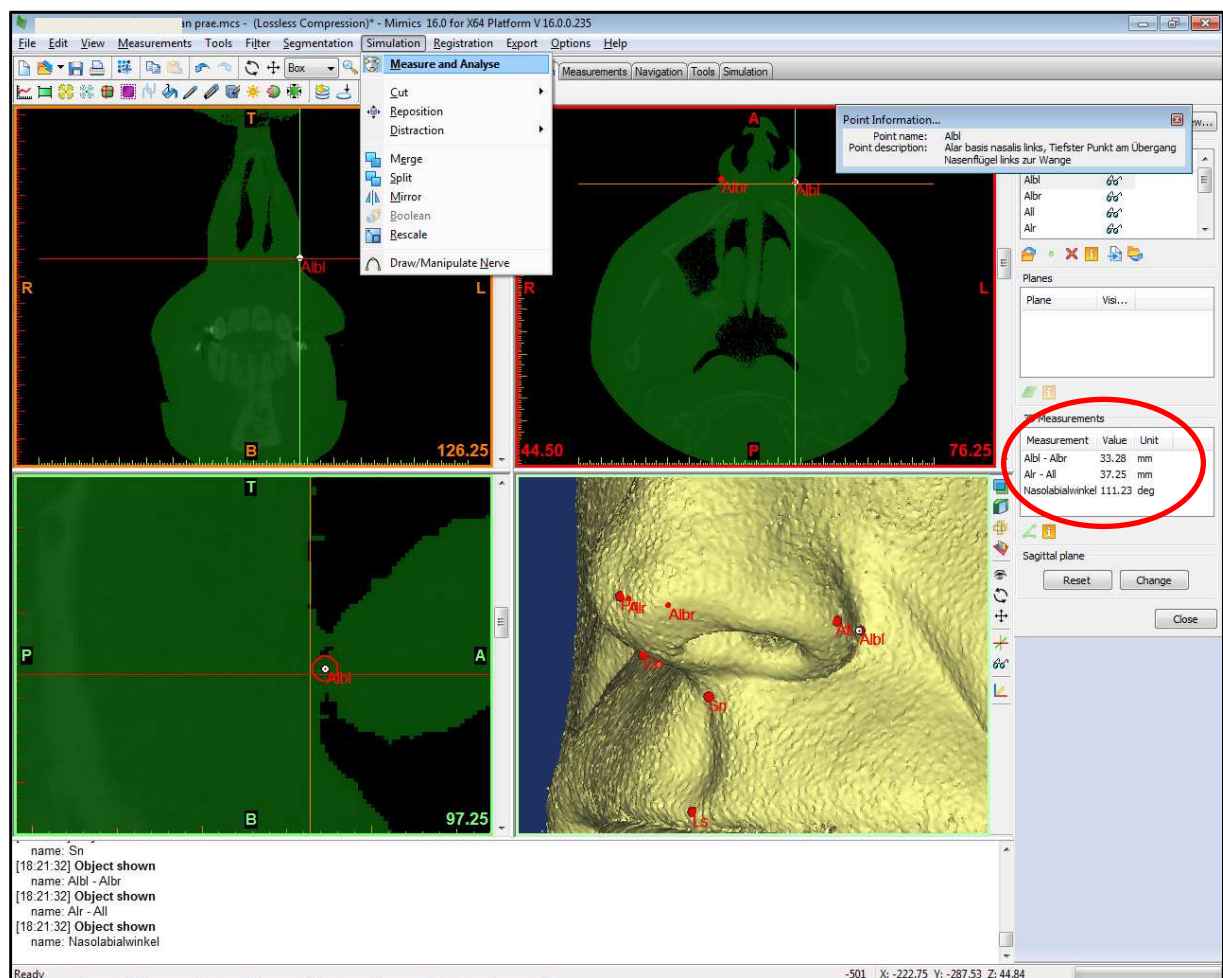
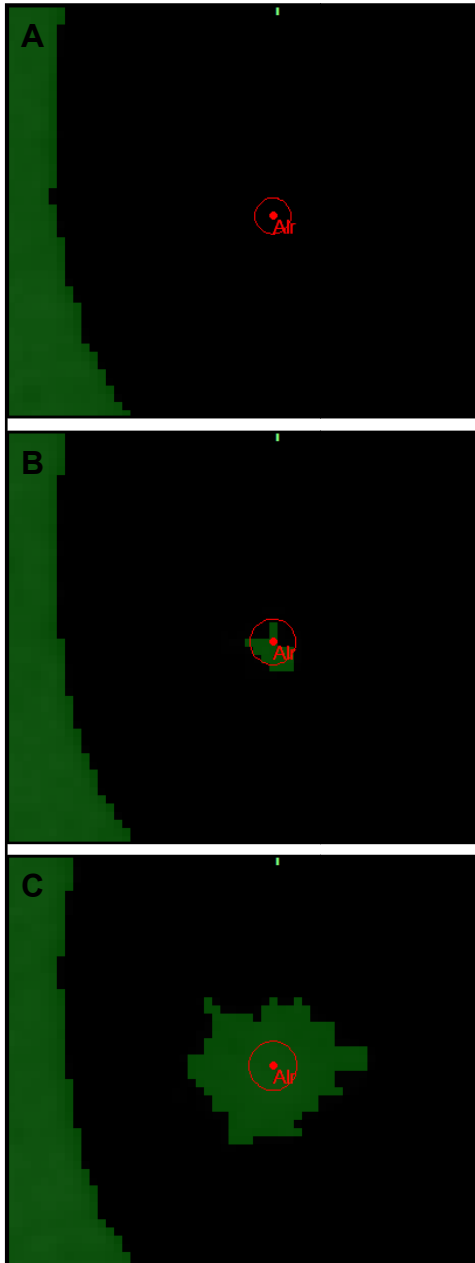


Abb. 30 Markierung der Weichgewebspunkte in Mimics

In Mimics besteht die Möglichkeit, direkt in den Schichtbildern Punkte setzen zu können. Als Beispiel sei an den folgenden zwei Abbildungen 31 und 32 gezeigt, wie sich im Abstand von 0,25 mm die Messpunkte Alr und Albr darstellen. Es handelt sich um drei sagittale Schichten im kleinstmöglichen Abstand von 0,25 mm.

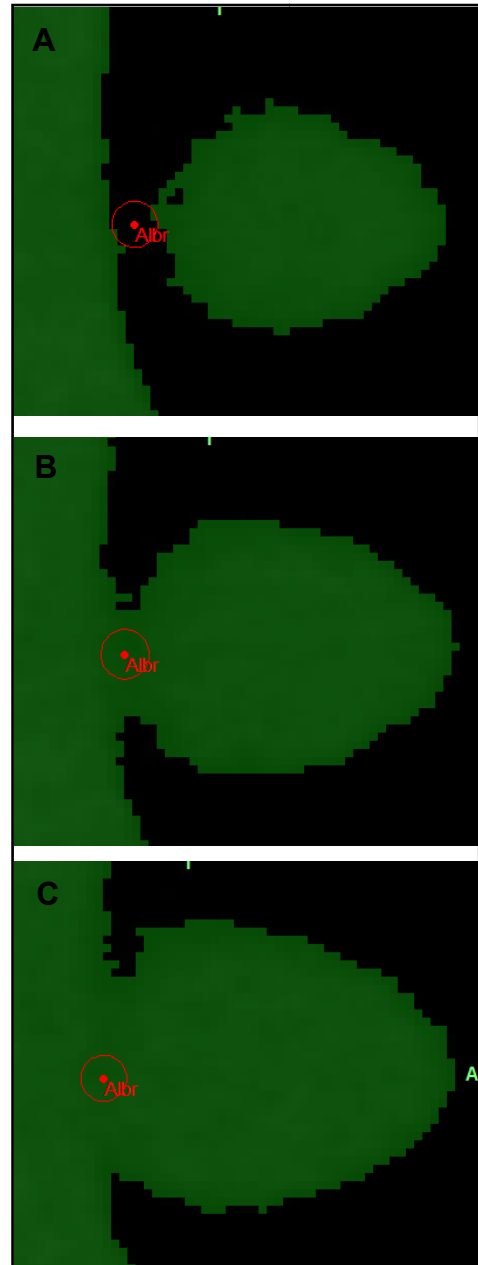


**Abb. 31 Punkt Alr**

**A:** zu weit lateral gesetzter Punkt Alr („Luft“)

**B:** exakt auf dem lateralsten Punkt des Nasenflügels gesetzter Punkt Alr

**C:** zu weit medial gesetzter Punkt Alr („im Weichgewebe“)



**Abb. 32 Punkt Albr**

**A:** zu weit lateral gesetzter Punkt Albr („Luft“)

**B:** exakt auf dem lateralsten Punkt der Nasenflügelbasis gesetzter Punkt Albr

**C:** zu weit medial gesetzter Punkt Albr („im Weichgewebe“)

### **3.7 Verwendete Hardware / Software**

Der Studien-Computer war ein Intel®Core™ i7-3770K CPU, 3,50Ghz, mit Microsoft Windows 7 Professional (64bit) als Betriebssystem und 32,0 GB Arbeitsspeicher. Verwendet wurde die installierte onboard-Grafikkarte des Mainboards Z77A-G43 des Herstellers MSI.

Als Software wurden verwendet:

1. Geomagic Control 2014.0.0 (64bit Version 2014.0.0.1660) des Herstellers Geomagics mit Sitz in Morrisville, NC, USA und
2. Mimics 16.0 für X64, Platform V16.0.0.235 des Herstellers Materialise NV mit Sitz in Leuven, Belgien.



### 3.8 Statistische Methoden

Mit dem **U-Test nach Mann und Whitney** wurde ein Messwert zwischen zwei Gruppen verglichen, wenn keine Gaußsche Normalverteilung der Messwerte angenommen werden konnte.

Bei Annahme einer Gaußschen Normalverteilung der Messwerte wurde der mächtigere **unverbundene t-Test nach Student** verwendet [37].

Der Unterschied zwischen Paaren von Messungen beim gleichen Patienten wurde mit dem Wilcoxon-Test geprüft. Der nichtparametrische Wilcoxon-Test wurde verwendet, weil keine Gaußsche Normalverteilung der Differenz angenommen werden konnte [37].

Eine Korrelation beschreibt die Abhängigkeit zweier Messungen. Die Werte müssen mindestens eine Rangreihenfolge haben, wie z.B. Blutdruckmessungen.

Eine Korrelation hat als Ergebnis zwei Zahlenwerte:

1. den Korrelationskoeffizienten; es handelt sich dabei um einen Zahlenwert zwischen  $-1$  und  $+1$ .  $+1$  repräsentiert eine ideale Korrelation. Je näher der Korrelationskoeffizient an  $1$  oder  $-1$  ist, desto enger ist die Abhängigkeit der beiden Messungen. Keine Abhängigkeit ist bei einem Wert von  $0$  vorhanden. Eine gegensinnige Abhängigkeit liegt bei einem negativen Korrelationskoeffizient vor. Eine ideale gegensinnige Korrelation ist bei einem Korrelationskoeffizienten von  $-1$  vorhanden.
2. den p-Wert; dieser stellt fest, ob überhaupt eine Beziehung vorhanden ist. Er sagt aus, ob sich der Koeffizient signifikant von Null unterscheidet. Umso größer die Anzahl des untersuchten Patientengutes ist, desto kleiner darf der p-Wert sein, um noch eine Signifikanz auszudrücken [37].

Für die Korrelation sind die drei bekanntesten Verfahren die folgenden [37]:

Die **Produkt-Moment-Korrelation nach Pearson**, deren Koeffizient mit  $r$  bezeichnet wird. Zur Berechnung einer Pearsonschen Korrelation müssen beide Variablen Gaußverteilt sein. Daher ist sie nur selten anwendbar.

Die **Spearmanische Rangkorrelation** mit dem Koeffizienten  $\rho$  ( $\rho$ ). Zur Berechnung einer Spearmanschen Rangkorrelation dürfen nicht zu viele "Rangbindungen", also nicht zu viele identische Werte, vorhanden sein.

Die **Kendallsche Rangkorrelation** mit dem Koeffizienten  $\tau$  ( $\tau$ ). Dieses Verfahren ist einerseits unempfindlich gegenüber Rangbindungen, ist aber andererseits der am wenigsten mächtige Test.

Zur Beurteilung der Güte eines Schätzwertes wird das Konfidenzintervall berechnet. Es ist nicht davon auszugehen, dass der aus der Stichprobe ermittelte Schätzwert mit dem tatsächlichen Wert der Grundgesamtheit eindeutig übereinstimmt. Eine Lage des tatsächlichen Wertes unweit des Schätzwertes ist aber anzunehmen. Dieser jedoch unpräzise Ausdruck wird durch ein Konfidenzintervall (Vertrauensbereich, Erwartungsbereich oder CI) eindeutiger beschrieben. Er gibt einen Hinweis auf die Genauigkeit der ermittelten Ergebnisse.

Die berechneten 95%-Konfidenzintervalle geben den jeweiligen Bereich an, der zu 95% den wahren Wert der zu untersuchenden Population überdeckt [37].

Die Probitdarstellung mit den Grenzen nach Lillefors wurde herangezogen, um die Ergebnisse auf eine Gaußsche Normalverteilung hin zu überprüfen.

Um einen quantitativen Vergleich der Messwerte vornehmen zu können, wurden p-Werte berechnet. Ein p-Wert  $<0.05$  wird als signifikant benannt und das Ergebnis als bedeutsam interpretiert. Eine Kennzeichnung der p-Werte wird üblicherweise mit Stern-Symbolen vorgenommen:

- $p < 0.05$  mit \*
- $p < 0.01$  mit \*\*
- $p < 0.001$  mit \*\*\* .



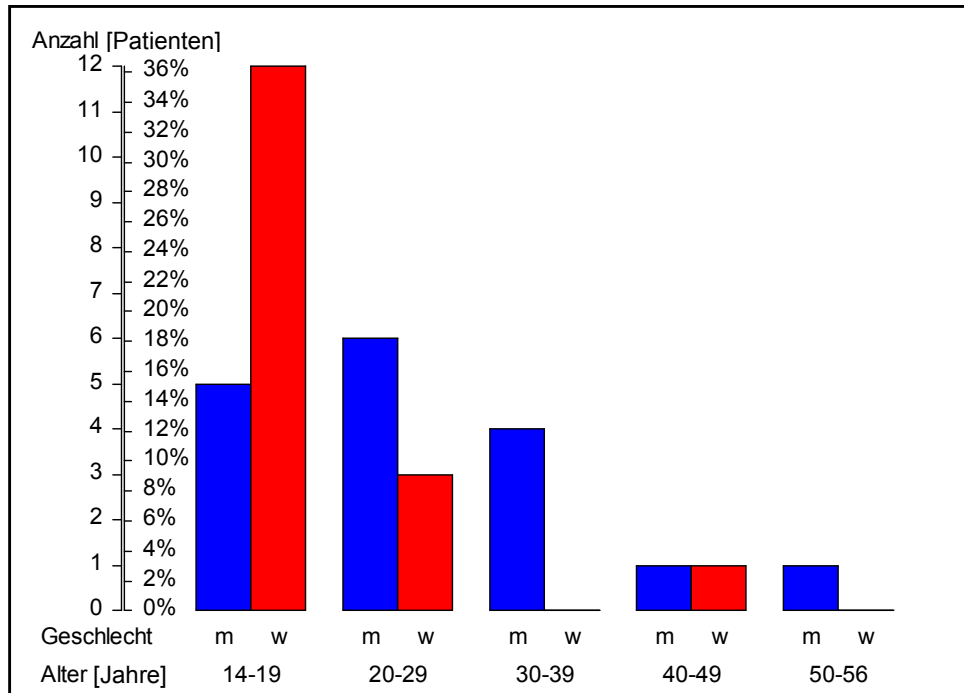
Der Methodenfehler wurde nach der Dahlberg-Formel berechnet. Eine ausreichende Messgenauigkeit kann angenommen werden, wenn der Methodenfehler unter dem von Dahlberg angegebenen Referenzwert von 1,0 liegt, da dies die Kürze der Messabstände unterstreicht.

## 4. Ergebnisse

### 4.1 Patientencharakteristik

#### 4.1.1 Alter und Geschlecht

Es wurden 33 Patienten im Alter von 14 bis 56 Jahren (vollendete Lebensjahre) untersucht. 17 Patienten (52%) waren männlich und 16 (48%) weiblich.



**Abb. 33 Alter und Geschlecht**

In Abbildung 33 sind Anzahl und Prozentsatz der Patienten in der genannten Altersgruppe (vollendete Lebensjahre) unterteilt nach Geschlecht ■ = männlich, ■ = weiblich, n= 33 dargestellt.

**Tab. 1 Geschlecht und Alter der untersuchten Patienten****MW = Mittelwert, ST = Standardabweichung, p aus dem U-Test nach Mann und Whitney.**

<b>Geschlecht</b>	<b>Alter</b>		MW	ST	Median	68%-CI		p
	n	%						
männlich	17	51.52	28.506	10.897	24.696	18.151	38.990	0.011**
weiblich	16	48.48	19.764	7.929	17.258	15.454	22.688	
gesamt	33	100.00	24.267	10.418	19.000	16.659	33.960	–

In Tabelle 1 ist dargestellt, dass die untersuchten männlichen Patienten hoch signifikant älter waren als die Patientinnen. Das verwendete Patientengut zeichnet sich durch eine relativ gleichmäßige Geschlechtsverteilung aus.

Der Test nach Mann und Whitney zeigt, dass beide Populationen (männlich und weiblich hinsichtlich des Alters) signifikant übereinstimmend verteilt sind.

Somit sind die Daten geeignet, in einer Population ausgewertet zu werden.

## 4.2 Operatives Vorgehen und Richtung der Kieferverlagerung

Wie unter 3.1 beschrieben, wurden die Richtungen, d.h. die räumlichen Dimensionen der Kieferverlagerungen der OP-Dokumentation entnommen.

Da als Auswahlkriterium ein Advancement der Maxilla festgelegt wurde, ergibt sich hier ein Wert von 100%. In Tabelle 2 ist die Verteilung der unterschiedlichen OP-Konfigurationen dargestellt. Es fällt auf, dass ein deutlich überwiegender Teil der untersuchten Patienten auch ein Set-back der Mandibula erhielt.

**Tab. 2. Konfiguration der zusätzlichen operativen Maßnahmen zu dem maxillären Advancement  
n = 33 Patienten, sortiert nach der Zahl der Patienten mit der Konfiguration**

<b>Zusatzverfahren</b>						n	%
UK Set-back	UK- Advancement	OK mit dorsaler Impaktation	OK mit Im- paktation	OK- Verlagerung als Two-piece- maxilla	Rotation/Ein- schwenken der Maxilla		
+	-	-	+	-	-	14	42%
+	-	-	-	-	-	7	21%
+	-	+	-	-	-	3	9%
-	-	-	-	-	-	3	9%
+	-	+	-	+	-	2	6%
-	-	+	-	-	-	2	6%
-	+	-	-	-	+	1	3%
-	-	-	+	-	-	1	3%

Die Rückverschiebung des Unterkiefers (UK Set-back) wurde bei den männlichen Patienten signifikant häufiger vorgenommen (16/17 mal = 94%) als bei den Patientinnen (10/16 mal = 62,5%,  $p_{mp} = 0.039^*$ ).

### 4.3 Zeitspanne bis zur Nachmessung

Die Zeit zwischen Operation und radiologischer Nachuntersuchung vor Entfernung des Osteosynthesematerials betrug 5,4 bis 36,0 Monate, im Mittel  $14,1 \pm 6,4$  Monate. Der Median war 12,6 Monate mit einem 68%-CI von 9,3 bis 20,6 Monaten.

### 4.4 Skelettale Veränderungen

#### 4.4.1 Methodenfehler

Alle Messungen wurden im Abstand von zwei Wochen durch die gleiche Person wiederholt. Der nach der Dahlberg Formel berechnete Methodenfehler ist für die skelettalen Messungen in Tabelle 3 dargestellt. Die Messgenauigkeit ist nach Dahlberg ausreichend, wenn der Methodenfehler möglichst unter dem angegebenen Referenzwert von 1,0 liegt [20].

Tab. 3 Fehlerabschätzung der skelettalen Messungen nach der Dahlberg-Formel; 13, 11, 21, 23: Messregionen im Bereich der Zähne 13, 11, 21 und 23; Front: Mittelwert aus o.g. Messregionen

Variable	Anzahl	Dahlberg (Wurzel MW)
13	33	0,67
11	33	0,56
21	33	0,66
23	33	0,64
Front	33	0,38

#### 4.4.2 Korrelation der Erst- mit den Zweitmessungen

In Tabelle 4 ist dargestellt, dass die Erst- und Kontrollmessungen in allen Fällen höchst signifikant ( $p < 0.001^{***}$ ) miteinander korrelieren. Daher würde theoretisch eine einzelne Messung genügen, um die sagittale Verlagerungsstrecke zu ermitteln (Tabelle 4 und 5). Rho ist in allen Fällen  $>91\%$  und die Differenz unterstreicht die nur minimalen Veränderungen, die zwischen Erst- und Zweitmessung stattfinden (-0,3737). Die verwendete Messregion scheint keinen Einfluss zu haben, da die Unterschiede, bezogen auf die Messbereiche, nicht signifikant sind.

**Tab. 4 Korrelation der Erstmessung mit der Kontrollmessung des OK-Advancements und der Erstmessung mit der Zunahme von Erst- zu Kontrollmessung**

**n = 33, rho und p aus der Spearmanschen Rangkorrelation.**

Messregionen	Erst- mit Kontroll- messung			Erstmessung mit Differenz	
	n	rho	p	rho	p
r13	33	0.9162	$<0.000005^{***}$	-0.1708	0.34
r11	33	0.9258	$<0.000005^{***}$	-0.3282	0.062
r21	33	0.9319	$<0.000005^{***}$	-0.5108	0.0024 **
r23	33	0.9236	$<0.000005^{***}$	-0.2811	0.11
Front	33	0.9566	$<0.000005^{***}$	-0.3737	0.032 *

**Tab. 5 Unterschiede der skelettalen Messungen**

**n = 33, p aus dem dem Wilcoxon-Test.**

				Differenz		
		MW	ST	MW	ST	p <sub>w</sub>
OK-Advancement [mm]						
Messregionen						
r13	Erstmessung	5.694	2.450	0.107	0.950	0.54
	Kontrollmessung	5.587	2.502			
r11	Erstmessung	5.361	2.601	0.063	0.801	0.76
	Kontrollmessung	5.298	2.496			
r21	Erstmessung	5.518	2.700	0.060	0.943	0.82
	Kontrollmessung	5.458	2.336			
r23	Erstmessung	5.865	2.516	0.009	0.919	0.99
	Kontrollmessung	5.855	2.384			
Mittelwerte						
Front	Erstmessung	5.609	2.494	0.060	0.537	0.51
	Kontrollmessung	5.550	2.358			

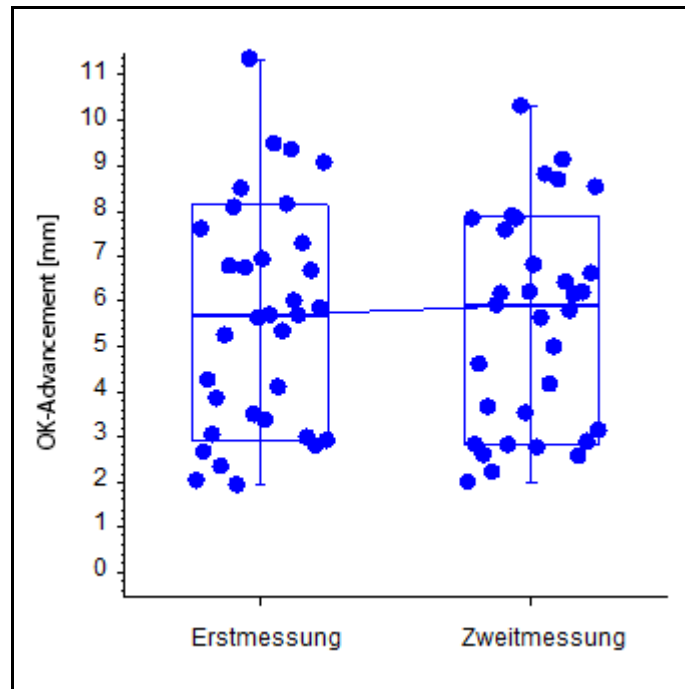


Abb. 34 Unterschied des OK-Advancements an frontalen Meßpunkten (n=33)

Die Abbildungen 34 und 35 verdeutlichen die sehr geringen Abweichungen der Erst- und Zweitmessung. Auch die sehr eng nebeneinander liegenden Mittelwerte (5,6 mm mit ST 2,5 mm bei Erstmessung und 5,5 mm mit ST 2,5 mm bei Zweitmessung) unterstreichen dies.

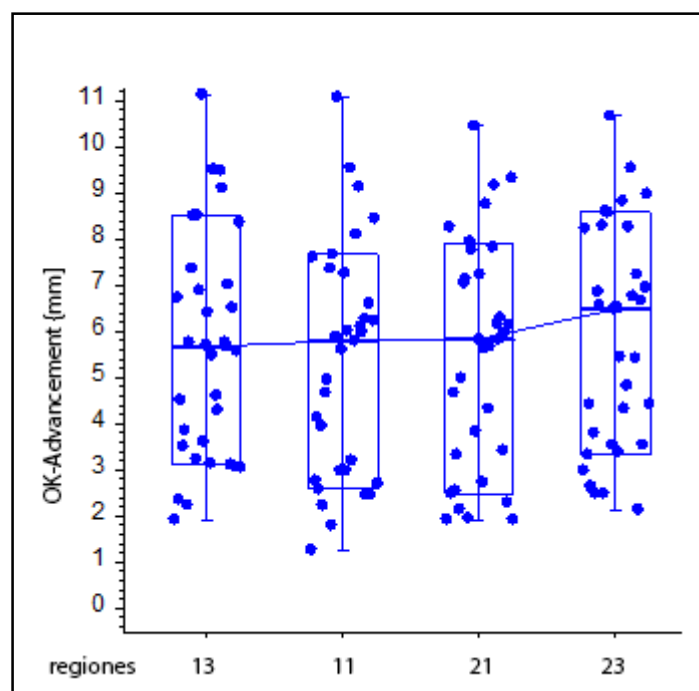


Abb. 35 Sagittale OK-Verlagerung an den einzelnen Meßpunkten

#### 4.4.3 Skelettale Verlagerung der Maxilla in der Sagittalebene

**Tab. 6 Skelettale Verlagerung in der Sagittalebene**

**MW = Mittelwert, ST = Standardabweichung, CI = Konfidenzintervall. Mittelwerte der Erst- und Kontrollmessung.**

	n	MW	ST	Median	68%-CI		Min	Max
Regio	OK-Adv[mm]							
r13	33	5.640	2.430	5.665	3.104	8.504	1.91	11.145
r11	33	5.330	2.517	5.805	2.575	7.662	1.255	11.09
r21	33	5.488	2.480	5.820	2.481	7.932	1.92	10.47
r23	33	5.860	2.407	6.495	3.338	8.572	2.14	10.66
Front	33	5.580	2.412	5.728	2.820	8.159	2.0163	10.841

Die sagittale Verlagerung der Maxilla betrug, wie Tabelle 6 zu entnehmen ist, im Mittel 5,58 mm. Die gemittelte kleinste Verlagerungsdistanz betrug 2,02 mm und die weiteste Distanz 10,84 mm. Im Median betrug die Verlagerung der Maxilla 5,73 mm. Bei ca. 68% der Verteilung der skelettalen Verlagerungsgröße lag das Advancement bei 2,82 mm, die übrigen 32% wiesen im Durchschnitt 8,16 mm auf.

Daraus geht hervor, dass bei einem anteilmäßig geringeren Teil der untersuchten Patienten überproportional hohe Verlagerungstrecken registriert werden konnten.



## 4.5 Weichteilveränderungen

### 4.5.1 Methodenfehler

Alle Messungen wurden im Abstand von zwei Wochen durch die gleiche Person wiederholt. Die sich ergebende Abschätzung des Methodenfehlers nach Dahlberg ist in Tabelle 7 dargestellt. Folgende Abkürzungen wurden verwendet: Alb prä: Nasenflügelbasisbreite prä-OP; Al prä: Nasenflügelbreite prä-OP; Alb post: Nasenflügelbasisbreite post-OP; Al post: Nasenflügelbreite post-OP; Sn-Ls-Co prä: Nasolabialwinkel prä-OP; Sn-Ls-Co post: Nasolabialwinkel post-OP.

**Tab. 7 Fehlerabschätzung der Weichgewebs-Messungen nach der Dahlberg-Formel**

<b>Variable</b>	<b>Anzahl</b>	<b>Dahlberg</b> (Wurzel MW)
<b>Alb prä</b>	33	<b>0,09</b>
<b>Al prä</b>	33	<b>0,13</b>
<b>Alb post</b>	33	<b>0,13</b>
<b>Al post</b>	33	<b>0,14</b>
<b>Sn-Ls-Co prä</b>	33	<b>1,58</b>
<b>Sn-Ls-Co post</b>	33	<b>1,41</b>

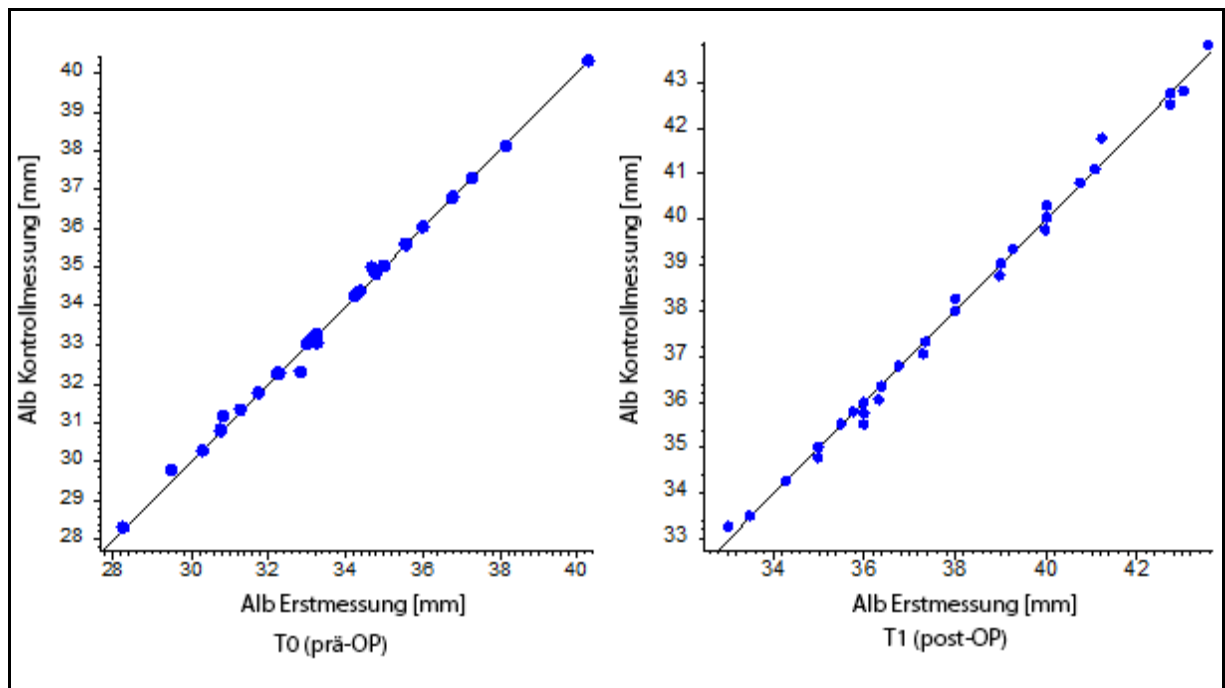
#### 4.5.2 Korrelation der Erst- mit den Zweitmessungen

**Tab. 8 Korrelation Erst- mit Kontrollmessung**

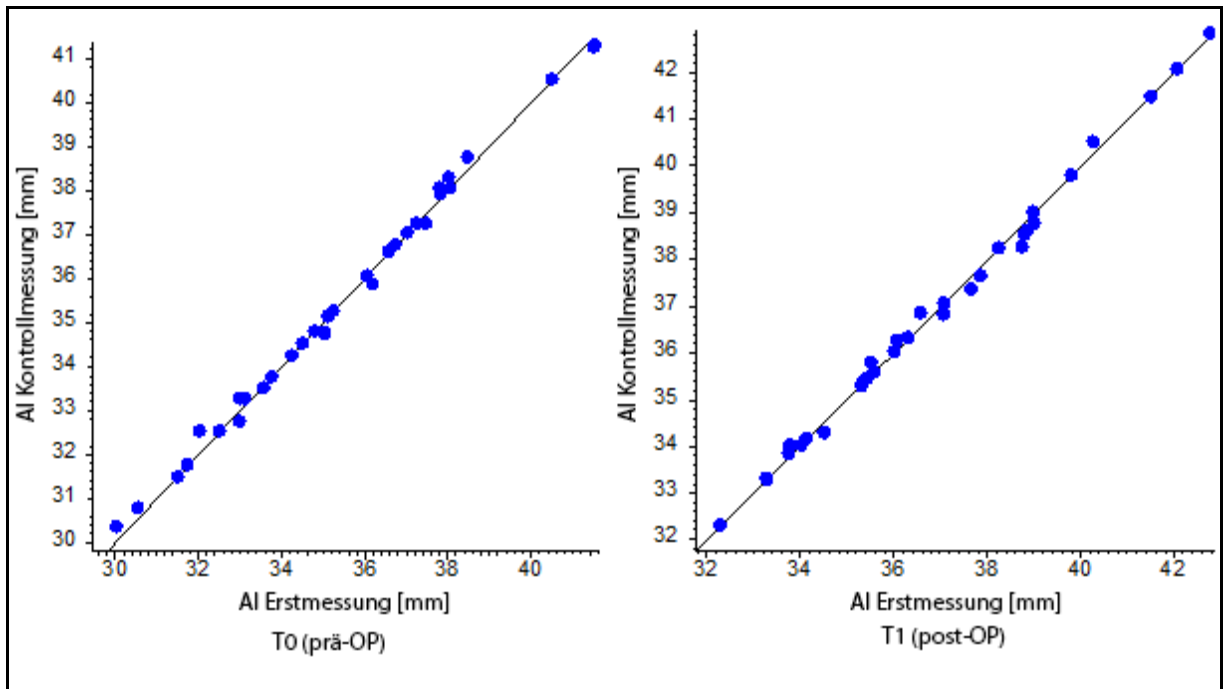
**r** und **p** aus der Produkt-Moment-Korrelation bzw. (SP) aus der Spearmanschen Rangkorrelation.

**n = 33**

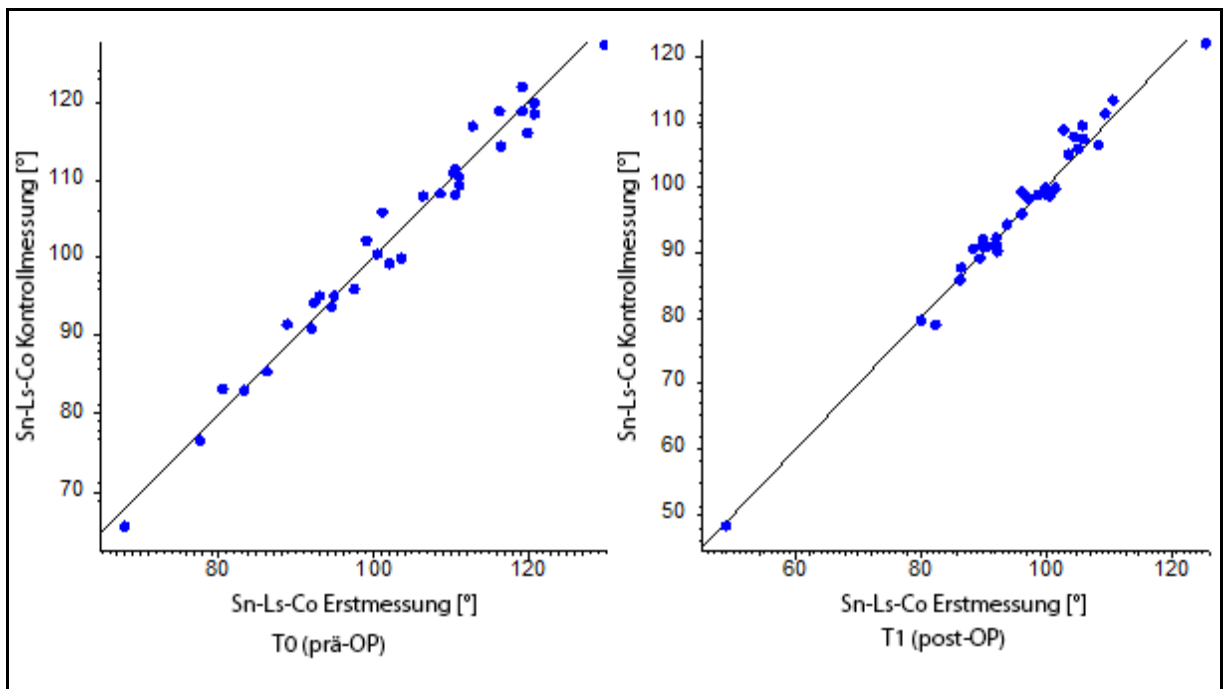
		r	p
vor Therapie	Alb	0.9987	<0.000005***
	Al	0.9980	<0.000005***
	Sn-Ls-Co	0.9766 <sub>Sp</sub>	<0.000005***
nach Therapie	Alb	0.9978	<0.000005***
	Al	0.9976	<0.000005***
	Sn-Ls-Co	0.9729 <sub>Sp</sub>	<0.000005***



**Abb. 36 Erst- und Kontrollmessungen Nasenflügelbasisbreite  $p < 0.000005^{***}$**



**Abb. 37 Erst- und Kontrollmessungen der Nasenflügelbreite  $p < 0.000005^{***}$**



**Abb. 38 Erst- und Kontrollmessungen Sn-Ls-Co (Nasolabialwinkel)  $p < 0.000005^{***}$**

Anhand der Abbildungen 36, 37 und 38 ist erkennbar wie exakt die Erst- und Kontrollmessungen durchgeführt wurden.

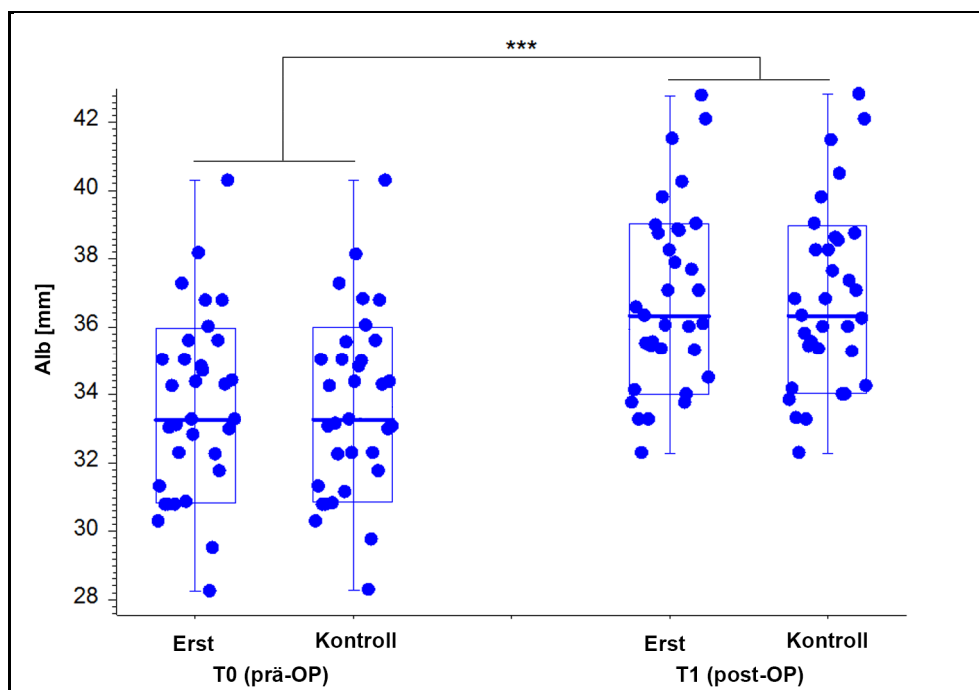
Es fällt auf, dass die Messungen des Nasolabialwinkels (Abbildung 38) die ungenauesten sind. Die trotzdem sehr hohen Korrelationen der Erst- und Zweitmessungen sind in Tabelle 8 dargestellt (jeweils  $p < 0.001$ ).

#### 4.5.3 Veränderung der äußeren Nase

Die Abbildungen 39-41 stellen die Zunahme der Nasenflügelbreite Al und der Nasenflügelbasisbreite Alb graphisch dar. Außerdem ist die Veränderung des Nasolabialwinkels dargestellt, der bei der Mehrzahl der Patienten abgenommen hat. In den dargestellten Boxplots wird außerdem durch den direkten graphischen Vergleich der gemittelten Erst- und Kontrollmessungen zum Zeitpunkt T0 und T1 die Exaktheit der Messungen deutlich. Die zugehörigen gemittelten Weichgewebe-Messungen sind in Tabelle 9 dargestellt.

**Tab. 9 Gemittelte Weichgewebe-Messungen; MW = Mittelwert, ST = Standardabweichung, CI = Konfidenzintervall.**

	n	MW	ST	Median	68%-CI		Min	Max
Alb prä	33	33.665	2.632	33.275	30.826	35.997	28.28	40.29
Alb post	33	36.837	2.651	36.320	34.025	38.997	32.295	42.805
Al prä	33	35.459	2.912	35.120	32.547	38.035	30.195	41.41
Al post	33	38.047	2.851	38.010	35.530	41.067	33.15	43.68
Sn-Ls-Co prä	33	102.992	14.388	103.545	90.302	117.993	66.765	128.49
Sn-Ls-Co post	33	96.339	12.748	97.705	89.340	106.607	48.555	123.73



**Abb. 39 Alb zum Zeitpunkt T0 und T1**

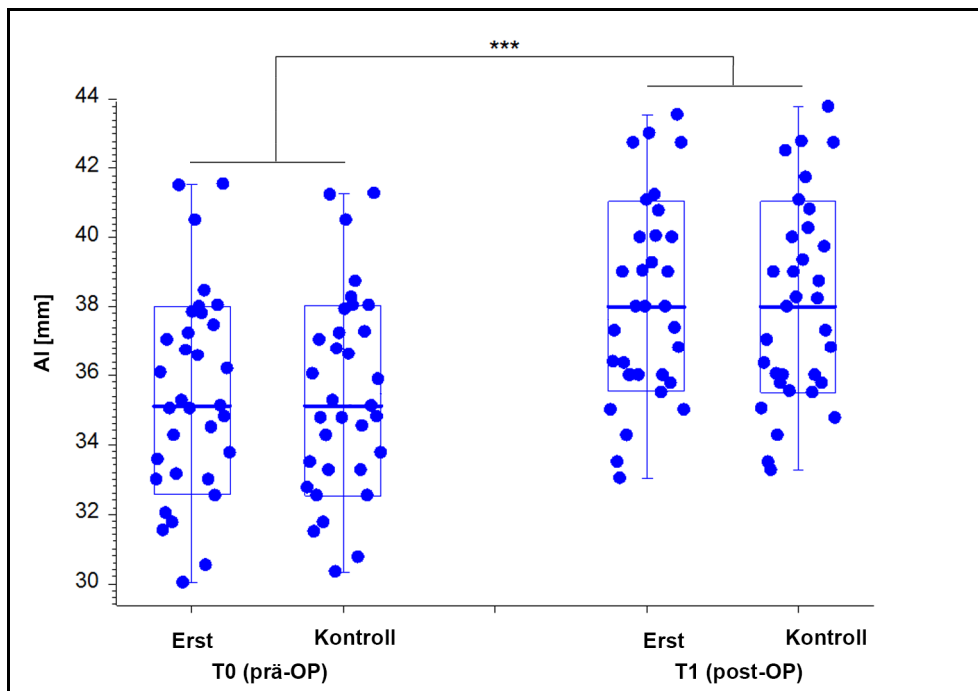


Abb. 40 AI zum Zeitpunkt T0 und T1

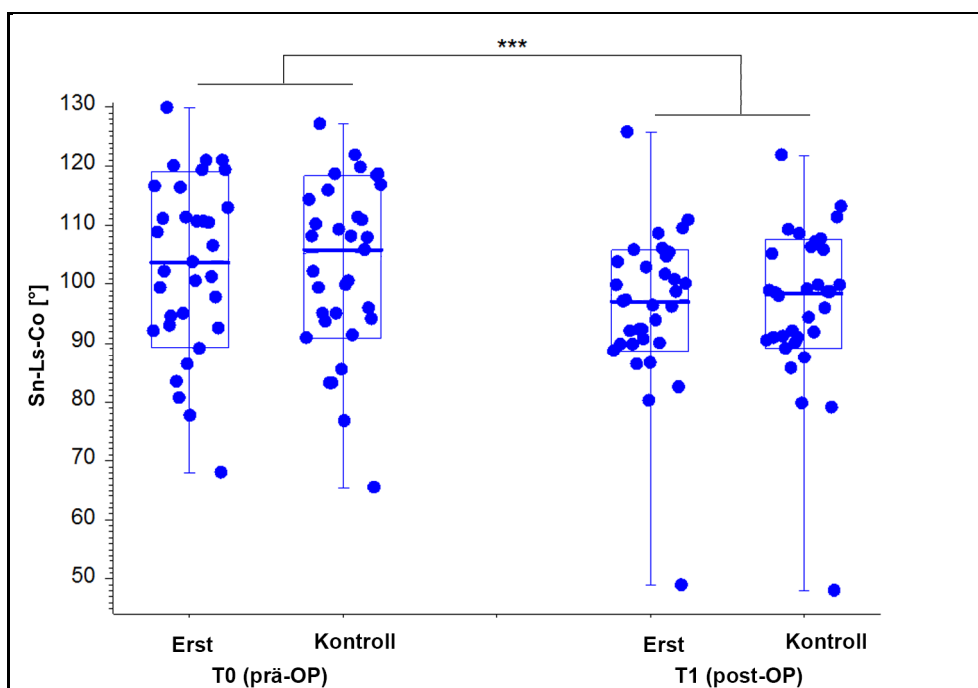


Abb. 41 Sn-Ls-Co zum Zeitpunkt T0 und T1

**Tab. 10 Vergleich der Werte zum Zeitpunkt T0 und T1; p aus dem t-Test nach Student bzw. (W) dem Wilcoxon-Test. n = 33**

				Zunahme		
		MW	ST	MW	ST	p
Alb	vor Therapie	33.665	2.632	3.171	1.322	<0.000005***
	nach Therapie	36.837	2.651			
Al	vor Therapie	35.459	2.912	2.588	1.255	<0.000005***
	nach Therapie	38.047	2.851			
Sn-Ls-Co	vor Therapie	102.992	14.388	-6.652	7.712	0.00002*** <sub>W</sub>
	nach Therapie	96.339	12.748			

Die Tabellen 10 und 11 zeigen, dass bei allen 33 Patienten die Nasenflügelbreite Al (im Mittel von 35,5 auf 38,1 mm) und die Nasenflügelbasisbreite Alb (im Mittel von 33,7 auf 36,8 mm) zugenommen haben. Der Nasolabialwinkel Sn-Ls-Co hatte bei 28 Patienten abgenommen und bei fünf Patienten zugenommen.

**Tab. 11 Veränderung der Nasenflügel- und Nasenflügelbasisbreite und des Nasolabialwinkels; MW = Mittelwert, ST = Standardabweichung, CI = Konfidenzintervall. n = 33**

Zunahme	MW	ST	95%	Median	95%-CI	Min	Max		
Alb	3.171	1.322	0.581	5.762	3.175	1.365	6.034	1.225	7.69
Al	2.588	1.255	0.128	5.049	2.270	1.076	5.798	0.88	6.71
Sn-Ls-Co	-6.652	7.712	-21.767	8.462	-5.075	-20.577	9.991	-26.36	10.215

Die Nasenflügelbasisbreite Alb änderte sich stärker als die Nasenflügelbreite Al ( $p_W < 0.00002$ ). Bei nur 3 Patienten änderte sich umgekehrt die Nasenflügelbreite stärker als die Nasenflügelbasisbreite.

Der Zusammenhang zwischen der Änderung von Alb und Al war höchstsignifikant ( $\rho = 0.85$ ,  $p_{Sp} < 0.001$ ). Zwischen der Zunahme von Alb und der Abnahme von Sn-Ls-Co war keine signifikante Korrelation zu erkennen ( $\rho = -0.28$ ,  $p_{Sp} = 0.11$  bzw.  $\rho = -0.26$ ,  $p_{Sp} = 0.15$ ).

Für die Nasenbreite fand sich keine Abhängigkeit der Zunahme vom präoperativen Wert (eher nahmen breitere Nasen weniger zu), wohl aber nahm der Nasolabialwinkel bei großen präoperativen Winkeln stärker ab ( $\rho = -0.54$ ,  $p_{St} = 0.0012^{**}$ ).

#### 4.5.4 Korrelation von Weichgewebsveränderungen mit dem Patientengeschlecht

Weiterhin wurde festgestellt, dass sich die Nasenflügelbasisbreite hoch signifikant ( $p < 0.01$ ) und die Nasenflügelbreite sogar höchst ( $p < 0.001$ ) signifikant zwischen männlichen und weiblichen Patienten unterscheiden. In Tabelle 12 ist außerdem dargestellt, dass sich die Zunahme nach der Therapie zwischen weiblichen und männlichen Probanden jedoch nicht unterscheidet.

**Tab. 12 Geschlecht und Nasenbreite**

			Geschlecht	n	MW	ST	p <sub>U</sub>
Messwert							
Alb [mm]	T0	Mittel	männlich	17	34.984	2.248	0.0039**
			weiblich	16	32.264	2.308	
	T1	Mittel	männlich	17	38.252	2.479	0.00095***
			weiblich	16	35.333	1.938	
	Zunahme		männlich	17	3.268	1.447	<b>0.87</b>
			weiblich	16	3.068	1.214	
Al [mm]	T0	Mittel	männlich	17	37.264	2.308	0.00024***
			weiblich	16	33.541	2.190	
	T1	Mittel	männlich	17	39.839	2.398	0.00010***
			weiblich	16	36.144	1.925	
	Zunahme		männlich	17	2.575	1.309	<b>0.96</b>
			weiblich	16	2.603	1.239	
SnLsCo [°]	T0	Mittel	männlich	17	103.755	16.406	0.55
			weiblich	16	102.181	12.375	
	T1	Mittel	männlich	17	97.875	15.645	0.20
			weiblich	16	94.708	8.948	
	Zunahme		männlich	17	-5.880	7.631	<b>0.51</b>
			weiblich	16	-7.473	7.960	

## 4.6 Korrelation zwischen Hart- und Weichgewebsverlagerungen

Wie Tabelle 13 zeigt, korreliert eine Zunahme der Nasenflügelbasisbreite und der Nasenflügelbreite höchstsignifikant ( $p < 0.001$ ) mit dem Ausmaß der skelettalen Verlagerung der Maxilla. Dargestellt sind die Signifikanzen sowohl für die einzelnen skelettalen Messungen als auch für deren Mittelwerte.

Zu erkennen ist außerdem, dass die Veränderung des Nasolabialwinkels statistisch nicht signifikant ist.

**Tab. 13 Veränderungen der äußeren Nase im Bezug auf die skelettale Verlagerung der Maxilla; Weichgewebeparameter als Differenz der Mittelwerte der Erst- und Kontrollmessung, Skelettale Messungen als Mittel der Erst- und Kontrollmessung des OK-Adv. p aus der Spearmanschen Rangkorrelation.**

<b>Zunahme von</b>	<b>Regio</b>	<b>n</b>	<b>rho</b>	<b>p</b>
Nasenflügelbasisbreite ( $\Delta A_{lb}$ )	r13	33	0.6297	0.00009***
	r11	33	0.6828	0.00001***
	r21	33	0.6892	0.00001***
	r23	33	0.6755	0.00002***
	Front	33	0.6949	0.00001***
Nasenflügelbreite ( $\Delta A_l$ )	r13	33	0.7341	<0.000005***
	r11	33	0.7356	<0.000005***
	r21	33	0.7605	<0.000005***
	r23	33	0.7678	<0.000005***
	Front	33	0.7688	<0.000005***
Nasolabialwinkel ( $\Delta S_n-L_s-Co$ )	r13	33	-0.2447	0.17
	r11	33	-0.2818	0.11
	r21	33	-0.3125	0.077
	r23	33	-0.3245	0.065
	Front	33	-0.3102	0.079



#### 4.6.1 Operationsverfahren und Veränderung der äußeren Nase

In Tabelle 14 sind die festgestellten statistischen Zusammenhänge zwischen den untersuchten Operationskonfigurationen und verschiedenen Weichgewebsmessungen dargestellt. Mittels Korrelationsanalyse wurde festgestellt, dass eine Zunahme der Nasenflügelbreite hoch signifikant ( $p=0.0043^{**}$ ) mit einer Impaktation der Maxilla korreliert.

**Tab. 14 Operationsverfahren und Weichgewebsmessungen**

		n	MW	ST	p <sub>U</sub>
Messwert					
UK Set-back					
Al T1	ja	26	38.491	2.886	0.090
	nein	7	36.399	2.149	
dorsale Impaktation					
Sn-Ls-Co T1	ja	7	92.976	6.646	0.099
	nein	26	97.245	13.906	
Zunahme Alb	ja	7	2.304	0.685	0.023*
	nein	26	3.405	1.362	
Zunahme Al	ja	7	1.776	0.582	0.023*
	nein	26	2.807	1.304	
Zunahme Sn-Ls-Co	ja	7	-3.314	5.054	0.082
	nein	26	-7.551	8.126	
Impaktation					
Zunahme Al	ja	15	3.809	1.309	0.0043**
	nein	18	2.640	1.105	
Zunahme Sn-Ls-Co	ja	15	3.168	1.388	0.0048**
	nein	18	2.106	0.915	
Two-piece-maxilla					
Sn-Ls-Co bei NU	ja	2	87.660	2.355	0.072
	nein	31	96.899	12.954	
Zunahme Al	ja	2	1.432	0.272	0.089
	nein	31	2.663	1.259	

#### 4.7 Berechnungen zur Vorhersage der Änderungen des Weichgewebes in Abhängigkeit der skelettalen Änderungen

Es wurden mit Hilfe der Statistiksoftware SPSS (IBM, Armonk, NY; USA) Formeln zur Berechnung der Weichgewebsveränderung generiert. Eine Regression zwischen der Sagittalverlagerung des Oberkiefers und der Verbreiterung der Nasenflügelbasis und der Nasenflügel wurde durch die Transformation der sagittalen Verlagerungsstrecke mit der Quadratwurzel und der Weichgewebeverbreiterung mit dem Logarithmus vorbereitet. Die transformierten Größen folgten hinreichend einer Gaußschen Normalverteilung. Die Beziehung der transformierten Werte war nicht rein linear, sondern gekrümmt. Daher wurde zur Berechnung der Regression ein Approximationspolynom zweiten Grades verwendet.

Formel für  $y = \Delta Alb$  im Verlauf von  $x = OK-Adv$ :

$$\log(\Delta Alb) = 0.4558889 + 0.124167 \cdot z + 0.010571 \times z^2$$

$$z = (\sqrt{(OK-Adv)-2.305})/0.5255$$

Anzahl Patienten  $n = 33$ , Regressionskoeffizient  $R^2 = 0.4764$ , Standardabweichung  $s = 0.1338959$

Formel für  $y = \Delta Al$  im Verlauf von  $x = OK-Adv$ :

$$\log(\Delta Al) = 0.3704371 + 0.1435941 \times z - 0.001474 \times z^2$$

$$z = (\sqrt{(OK-Adv)-2.305})/0.5255$$

Anzahl Patienten  $n = 33$ , Regressionskoeffizient  $R^2 = 0.5281$ , Standardabweichung  $s = 0.1403169$

#### 4.7.1 Nasenflügelbasisbreite

In Tabelle 15 sind die Perzentilen bei Advancement der Maxilla um 2 mm bis 10 mm in Millimeterabständen dargestellt. Der Tabelle entsprechend folgen auf ein Advancement von 5 mm im Mittel ungefähr 2,8 mm Verbreiterung der Nasenflügelbasis. 95% der Patienten mit 5 mm Advancement haben eine Verbreiterung zwischen circa 1,7 mm und circa 4,6 mm zu erwarten.

**Tab. 15 Approximierte Perzentile der Alb je nach Ausmaß des OK-Advancements**

OK-Adv.	Perzentile für Zunahme Alb [mm]				
	5.00%	10.00%	50%	90.00%	95.00%
2 mm	1.13653	1.26409	1.88730	2.81777	3.13401
3 mm	1.29681	1.44235	2.15346	3.21515	3.57598
4 mm	1.46956	1.63449	2.44031	3.64343	4.05233
5 mm	1.65802	1.84409	<b>2.75326</b>	4.11066	4.57200
6 mm	1.86481	2.07410	3.09666	4.62337	5.14224
7 mm	2.09245	2.32728	3.47467	5.18774	5.76995
8 mm	2.34348	2.60649	3.89153	5.81012	6.46218
9 mm	2.62062	2.91473	4.35173	6.49721	7.22638
10 mm	2.92678	3.25524	4.86013	7.25626	8.07062

#### 4.7.2 Nasenflügelbreite

In Tabelle 16 sind die Perzentilen bei Advancement der Maxilla um 2 mm bis 10 mm in Millimeterabständen dargestellt. Der Tabelle entsprechend folgen auf ein Advancement von 5 mm im Mittel ungefähr 2,2 mm Verbreiterung der Nasenflügel. 95% der Patienten mit 5 mm Advancement haben eine Verbreiterung zwischen circa 1,3 mm und circa 3,8 mm zu erwarten.

**Tab. 16 Approximierte Perzentile der AI je nach Ausmaß des OK-Advancements**

OK-Adv.	Perzentile für Zunahme AI [mm]				
	5.00%	10.00%	50%	90.00%	95.00%
2 mm	0.77994	0.87191	1.32704	2.01974	2.25791
3 mm	0.95805	1.07102	1.63009	2.48098	2.77353
4 mm	1.13726	1.27136	1.93499	2.94504	3.29231
5 mm	1.32078	1.47652	<b>2.24725</b>	3.42030	3.82361
6 mm	1.51028	1.68837	2.56968	3.91103	4.37221
7 mm	1.70677	1.90802	2.90400	4.41985	4.94103
8 mm	1.91093	2.13626	3.25137	4.94855	5.53207
9 mm	2.12328	2.37365	3.61268	5.49846	6.14682
10 mm	2.34424	2.62067	3.98863	6.07066	6.78649

#### 4.8 Vergleich der T0-Messewerte der Nasenmorphologie mit anthropometrischen Standardwerten

Die ermittelten Messwerte der Strecken Alb und Al wurden mit den Ergebnissen einer umfangreichen anthropometrischen Studie verglichen. In der anthropometrischen Studie von Farkas et al. [27] wurden die gleichen Messstrecken wie in der vorliegenden Studie bei Kaukasiern ausgewertet. **Die Strecke Al der vorliegenden Studie entsprach dabei der Strecke al-al bei Farkas und Alb der Strecke ac-ac.** Die Messwerte des Zeitpunktes T0 wurden entsprechend der von Farkas et al. angegebenen Werte gerundet. Die entsprechenden Werte sind in Tabelle 17 dargestellt.

Tab. 17 Vergleich der Messwerte mit Farkas [27]

	Geschlecht	n	MW	ST
			Messwert	
Alb	männlich	17	35.0	2.3
[mm]	weiblich	16	32.3	2.3
ac-ac	männlich	60	35.0	3.0
[mm]	weiblich	60	31.6	2.8
Al	männlich	17	37.3	2.3
[mm]	weiblich	16	33.5	2.2
al-al	männlich	60	36.9	2.8
[mm]	weiblich	60	32.9	2.7

Es wurde festgestellt, dass die ermittelten Werte, insbesondere der untersuchten männlichen Patienten sehr ähnlich zu den von Farkas bestimmten Werten sind [27]. Die ermittelten Breiten der Nasenflügelbasis der männlichen Patienten sind als identisch zu werten.

Die deutlichste Abweichung zwischen der ermittelten Nasenflügelbasisbreite der untersuchten Patientinnen und den Messwerten vom Farkas ist mit 0,7 mm als sehr gering einzuschätzen. Das untersuchte Patientengut kann demnach weitestgehend als repräsentativ für Patienten kaukasischer Abstammung gelten.

## 4.9 Teststärkeanalyse

In SPSS wurde eine Power-Analyse durchgeführt, um festzustellen, ob die vorhandene Anzahl ( $n=33$ ) untersuchter Patienten eine ausreichende Validität der Ergebnisse zulässt. Es wurde festgestellt, dass für die Untersuchungen der Nasenflügelbasisbreite (Alb), Nasenflügelbreite (Al) sowie des Nasolabialwinkels (Sn-Ls-Co) mit der gewählten Anzahl untersuchter Patienten jeweils eine Power von 1,0 erreicht wurde und so die Anzahl der untersuchten Patienten als ausreichend zu betrachten ist. Screenshots der Power-Analyse sind in Abbildung 42 dargestellt.

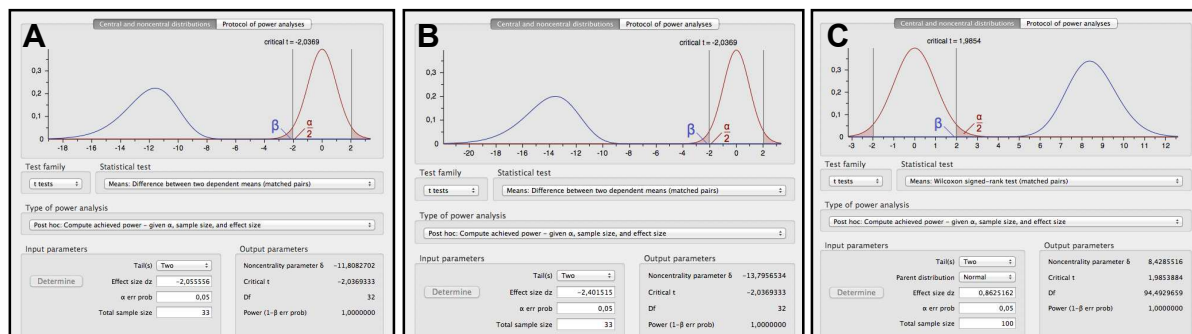


Abb. 42 A: Power-Analyse für AL B: Power-Analyse für Alb C: Power-Analyse für Sn-Ls-Co

## **5. Diskussion**

### **5.1 Veränderung der Nase nach maxillärem Advancement**

In der vorliegenden Arbeit konnte festgestellt werden, dass die transversale Ausdehnung der Nase beim Advancement der Maxilla zur Behandlung von Angle Klasse III Bisslageanomalien mit maxillärer Retrognathie zunimmt. Das zeigte sich sowohl für den Messbereich zwischen dem lateralsten Punkt der Nasenflügel als auch für den Abstand zwischen den tiefsten Punkten der Nasenflügelwurzel. Durch die Ergebnisse der Korrelationsanalyse zwischen der sagittalen Verlagerungsstrecke der Maxilla und entsprechenden Weichgewebsänderungen kann mit Hilfe dieser Studie eine Vorhersage bezüglich der Verbreiterung der Nase getroffen werden.

Die Besonderheit dieser Arbeit ist, dass in derselben dreidimensionalen DVT-Aufnahme sowohl die operativ herbeigeführte skelettale Verlagerung als auch die dreidimensionale Weichgewebsveränderung ermittelt werden konnte. Sehr früh wurde bereits publiziert, dass eine Verlagerung der Maxilla auch eine Verbeiterung der Nasenflügelbasis bzw. Veränderung der Nasenästhetik zur Folge hat [25, 45, 52, 63, 93]. Eine Korrelationsanalyse zu nasalen Weichgewebsänderungen findet sich in der Literatur bis dato noch nicht. Die skelettale Verlagerung der Maxilla konnte in älteren Studien nur mit Hilfe der präoperativ angefertigten Modell-OP im Artikulator, bzw. mit der Vermessung zweidimensionaler Fernröntgenseitenbilder angenommen werden [13, 86]. Zur Vermessung der Nase wurden prä- und postoperative Fernröntgenseitenbilder vermessen und Profilveränderungen statistisch ausgewertet [52, 63, 93]. Computerunterstützte Messungen von digitalisierten Fernröntgenseitenaufnahmen sowie die Analyse der lateralen Morphologie der äußeren Nase wurden schon 1983 vorgenommen. Eine Aussage zur Nasenbreite war bislang wegen der zweidimensionalen Analysen technisch nicht möglich [68].

Die Projektion der seitlichen Gesichtsansicht macht eine Analyse der Nasenbreite bedingt durch die nicht überlagerungsfreie Darstellung unmöglich.

Eine Bestimmung der Veränderung der interalaren Distanz an dreidimensionalen Objekten, genauer an Gipsabdrücken der Nasolabialregion, wurde von der Arbeitsgruppe um Betts 1993 vorgenommen. In einer multiplen, schrittweisen

Regressionsanalyse wurde damals lediglich festgestellt, dass die Nase unabhängig vom Bewegungsvektor der Kieferverlagerung in jedem Fall verbreitert wird [9]. Eine genauere Aussage ließ sich zur damaligen Zeit nicht determinieren.

Mit der Entwicklung neuer Methoden vor ca. 20 Jahren wurde eine dreidimensionale Abtastung des Gesichtes möglich. Eine erstmalige Überlagerung von dreidimensionalen Bilddaten zur Analyse der Gesichtswichteile wurde 1992 von der Arbeitsgruppe um McCance durchgeführt. In verschiedenen Analysen wurde das Verhältnis von Verlagerungsstrecke zu der sich daraus ergebender Veränderung des Weichgewebes ermittelt [69]. Weitere Untersuchungen mit Registrierung der Weichgewebe durch lasergestützte Abtastung oder 3D-Fotografie folgten [16, 70, 114]. Bei der Verwendung von Methoden zur Visualisierung der Gesichtswichteile mit (Laser-)Licht ist nachteilig, dass lediglich die Haut als Oberfläche erfasst wird, aber keine Aussagen zu darunter liegendem Knochen und dessen chirurgischer Verlagerung getroffen werden können. Bei der Erfassung durch Licht entstehen ferner Unterschneidungen im Bereich der Nase, die eine exakte Untersuchung in diesem Bereich unmöglich machen [39]. Beide Nachteile wurden in der vorliegenden Studie durch die Verwendung eines dentalen Volumentomographen eliminiert. Wegen der unterschiedlichen physikalischen Eigenschaften von Haut und Knochen wird die Haut beim Röntgen mit erfasst, wenn der darunter liegende Knochen untersucht werden soll. Der für diese Studie verwendete Volumentomograph liefert bei einem Umlauf von 360° 619 Einzelbilder. Die Dicke der einzelnen Röntgensichten betrug 0,25 mm. Damit ist eine maßstabsgetreue, überlagerungsfreie Darstellung möglich. Unterschneidungen, insbesondere in der Regio nasalis, werden vermieden. Die Analyse von Gesichtswichten aus DVT-Rekonstruktionen wurde erstmals 2005 von Han publiziert. Schon in dieser Studie wurde die interalare Distanz vermessen. Die untersuchten Patienten waren jedoch alle asiatischer bzw. koreanischer Abstammung [35]. 2012 wurde dieses Thema durch Park et al. mit geänderter Methode erneut untersucht. Auch in dieser Studie waren lediglich asiatische Patienten eingeschlossen [88].

Kim et al. untersuchten ebenfalls 3D-Rekonstruktionen aus DVT-Aufnahmen nach Neupositionierung der Maxilla in der Le-Fort I-Ebene. Das Weichgewebe der Nase, speziell die transversale Ausdehnung zwischen den Sulci alari fand in

der Untersuchung keine besondere Berücksichtigung. Es wurde lediglich festgestellt, dass sich das Weichgewebe in der Nasolabialregion „einkerbt“ [56].

Hwang et al. untersuchten 2012 den Effekt bimaxillärer Umstellungsosteotomien bei Patienten mit Gesichtsskoliosen. In ihrer Arbeit wurden ausschließlich die Weichgewebsveränderungen nach seitenungleicher Impaktation der Maxilla analysiert. Nach der Überlagerung von prä- und postoperativen DVT-Aufnahmen und dem anschließenden Vergleich anhand eines Meßgitters konnte unter anderem festgestellt werden, dass sich auf Seiten unterschiedlich starker Impaktation auch unterschiedliche Reaktionen des Weichgewebes ergeben [49].

Zusammenfassend stammt der überwiegende Anteil der verfügbaren Studien aus dem asiatischen Raum. Vergleicht man die Nasenmorphologie von Studienergebnissen asiatischer Patienten mit den Untersuchungsergebnissen von Kaukasiern, fallen große Differenzen auf.

Die Nasenbreite im Bereich der Nasenflügelbasis und der weitesten lateralen Ausdehnung der Nasenflügel wurde 2005 durch Farkas et al. definiert, in verschiedenen ethnischen Gruppen vermessen und interkulturell anthropometrisch evaluiert [26]. Bei Probanden asiatischer Abstammung, insbesondere Japanern, wurden signifikant breitere Abstände der Nasenflügel registriert. Bei Kaukasiern und "weißen Nord-Amerikanern" (North American whites, NAW) hingegen finden sich keine objektivierbaren Unterschiede [27]. Deshalb ist die Übertragung älterer Ergebnisse aus dem asiatischen Raum auf Kaukasier problematisch.

Vergleicht man die Ausdehnung der Nasenflügel mit den Ergebnissen von Farkas et al., kann festgestellt werden, dass die anthropometrisch gemessenen Werte und die in dieser Studie ermittelten Daten weitestgehend identisch sind. Es kann geschlussfolgert werden, dass die randomisiert ausgewählten und in dieser Studie untersuchten Patienten als exemplarisch für Patienten kaukasischer Abstammung gewertet werden können.

Insgesamt sollen die in unserer Studie erhobenen Daten dem Operateur eine Orientierung bezüglich der sich ändernden Nasenbreite je nach Verlagerungsstrecke der Maxilla geben. Die Ästhetik stellt einen hohen Stellenwert bei der Motivation zur Operation dar [50]. Göz et al. haben 1981 beschrieben, dass eine störende Ästhetik bei 49% der damals untersuchten Patienten eine entscheidende Rolle bei der Entscheidung für eine kombiniert kieferchirurgisch-



kieferorthopädische Therapie gespielt hat [32]. Eine ursprünglich störende Breite der Nase muß daher bei dysgnathiechirurgischen Eingriffen an der Maxilla in die Planung mit einbezogen werden. Auch sollten Möglichkeiten gesucht werden, den ungewollten Nebeneffekt der Verbreiterung der Nase zu verhindern [3, 74, 96]. Außerdem sollten Patienten während der Vorbereitung auf eine chirurgische Vorverlagerung der Maxilla bezüglich des zumeist ungewünschten Nebeneffekts der Verbreiterung der Nase aufgeklärt werden. Dies kann insbesondere bei Patienten, die ohnehin eine etwas breitere Nasenmorphologie aufweisen, sehr bedeutsam für das subjektiv wahrgenommene ästhetische Ergebnis sein.

## **5.2 Diskussion der Methodik**

In der vorliegenden Studie wurden standardisiert erstellte dentale Volumentomogramme verwendet. Bei der Erstellung der DVT ergeben sich zahlreiche Fehlermöglichkeiten, die es zu vermeiden gilt. Eine sehr wichtige Rolle spielt die exakte Positionierung des Patienten im dentalen Volumentomographen. Alle untersuchten Patienten wurden mit Hilfe der im Gerät vorhandenen Laser-Positionierungshilfen ausgerichtet. Die Ablenkung von Streustrahlung an den Zähnen bzw. intraoralen metalledichten Objekten (z.B. Brackets, Zahnersatz, etc.) in zu befundende Bereiche wird so minimiert. Allgemein ist festzustellen, dass bei Schichtbildaufnahmen bewegungsbedingte Artefakte ein Problem darstellen und die Qualität der Rekonstruktion negativ beeinflussen [36]. Diesem Problem, das meist durch Atmung, Schlucken, Herzschlag und sonstige Bewegungen des Patienten verursacht wird, kann durch vorherige exakte Instruktion des Patienten entgegengewirkt werden. Andere Methoden zur Reduzierung dieser Bildfehler befinden sich momentan in der Entwicklungsphase. Diese zielen auf eine Verfeinerung des Berechnungsalgorithmus sowie auf die Erfassung und Berücksichtigung der bewegungsbedingten Aufnahmefehler ab [36, 66]. Da wie eingangs beschrieben, standardisierte Aufnahmen erstellt und die Patienten bei der Erstellung der DVT identisch instruiert und positioniert wurden, konnten Aufnahmefehler minimiert werden. Oh et al. postulierten in einer Untersuchung, in der prä- und postoperative DVT-Rekonstruktionen nach zwei und sechs Mo-

naten überlagert und vermessen wurden, dass postoperative Weichgewebsergebnisse nach frühestens sechs Monaten zu beurteilen sind [84]. Es wurde festgestellt, dass im Zeitraum von zwei bis sechs Monaten nach bimaxillärer Umstellung komplexe Veränderungen des Weichgewebsprofils erfolgen. Die in der vorliegenden Studie verwendeten Aufnahmen wurden im Median 12,6 Monate (5,4 bis 36,0 Monate) nach Kieferverlagerung erstellt. Basierend auf den Ergebnissen anderer Arbeiten wurde die untere Grenze bezüglich der Zeitspanne zwischen Operation und der postoperativen röntgenologischen Untersuchung auf ca. 6 Monate festgelegt [53, 84].

Eine Überlagerung von aus dem Computertomographen gewonnenen Daten mit dreidimensionalen stereophotogrammetrischen Gesichtsdaten eines Kopfmodells ist im Rahmen einer Pilotstudie 2002 von der Arbeitsgruppe um Khambay an der Universität Glasgow erstmals versucht worden. Mit der damals verwendeten Methode wurde eine Überlagerungsgenauigkeit von 1,25-1,5 mm registriert [55].

Die Vermessung von aus dem DVT oder CT gewonnenen Weichgewebsmodellen mit Mimics (Materialise n.v., Leuven) hat sich bereits in verschiedenen Studien als probates Mittel erwiesen [31, 110]. Das sehr exakte Auffinden von definierten Weichgewebspunkten, z.B. der weitesten lateralen Ausdehnung des Nasenflügels, kann durch die Möglichkeit der Markierung von Punkten auch in den sagittalen Schnittbildern erklärt werden. Die Auswahl der Messpunkte des Weichgewebes ist entsprechend der Fragestellung und guten Reproduzierbarkeit erfolgt.

Schauseil hat in seiner Dissertation aus dem Jahr 2013 die Analyse von DVT-Daten mittels der verwendeten Software Geomagic Qualify vorgestellt [103]. In der vorliegenden Studie wurde eine neue Methode zur Feststellung der Strecke des maxillären Advancements angewendet. Eine Auswahl des Messbereiches ist entsprechend der Fragestellung nach der metrischen Verlagerung der Maxilla in der Sagittalebene erfolgt.

Im Rahmen eines Vorversuchs wurde evaluiert, ob sich die Analyse mit dem Programm Geomagic Qualify auf die vorliegende Situation transponieren lässt. Es konnte festgestellt werden, dass sich Veränderungen an standardisiert hergestellten Testkörpern sehr präzise identifizieren lassen.

Ferner ist zu diskutieren, inwiefern sich Fehler bei der Reproduzierbarkeit der

verwendeten Messpunkte ergeben. Die im Abstand von zwei Wochen angefertigten Erst- und Kontrollmessungen aller verwendeten Messungen korrelieren höchst signifikant miteinander ( $p < 0.000005^{***}$ ). Ähnliche Ergebnisse der Reproduzierbarkeit und Reliabilität von verschiedenen Messpunkten konnten schon in der Vergangenheit in zweidimensionalen Studien mit FRS Aufnahmen festgestellt werden [8, 71, 111]. Bei der Untersuchung von aus DVT-Daten ermittelten Fernröntgenseitenbildern zeigten sich vergleichbare Werte [79]. Die Reliabilität von Meßpunkten an dreidimensionalen Rekonstruktionen des Gesichtsschädels wurde ebenfalls als sehr hoch befunden [29, 78, 85]. Die Auffindbarkeit von wichtigen Bezugspunkten und Ebenen in dieser Studie, wie z.B. der Frankfurter Horizontalen mit deren Bezugspunkten Porion und Orbitale, wurden als exzellent eingestuft [19, 64].

### **5.3 Diskussion der Operationsmethode**

Alle Operationen wurden nach identischer Technik vom gleichen Operateur durchgeführt. Zur in der Einleitung erwähnten Reduktion der Spina nasalis anterior ist festzustellen, dass diese nur eine geringe Bedeutung zur Charakterisierung des Mittelgesichtsprofils besitzt [42]. Auch die gelegentlich vorgenommene subspinale Osteotomie der Maxilla hat für einige ästhetisch sehr bedeutsame Areale der Nase keine Bedeutung [75]. Alle untersuchten Patienten wurden entsprechend der eingangs beschriebenen modifizierten Osteotomie entlang der Le Fort I-Ebene operiert.

Bei allen Patienten wurden die beschriebenen Zügelungsnähte für die Basen der Nasenflügel angewendet. Diese Technik kommt schon seit den 1980er Jahren zur Anwendung und wird heute regelmäßig im Rahmen von dysgnathiechirurgischen Eingriffen angewendet [18, 34, 72, 95]. Ein Vergleich zu Patienten, die ohne die Anwendung dieser Nahttechnik operiert wurden, kann deshalb nicht vorgenommen werden.

Ryckmen et al. untersuchten 2010 30 Patienten nach bimaxillärem Advancement. Innerhalb des Patientengutes dieser Studie wurde bei 11 von 30 Patienten eine Augmentation der Wangenpartie mit alloplastischem Material (Interpore-200) bei zygomatico-maxillärer Hypoplasie im Sinne eines Dishface durchge-

führt. Inwiefern dies das Weichgewebsprofil beeinflusst, wurde jedoch nicht diskutiert [101]. Bei dem in der vorliegenden Studie untersuchten Patientengut wurden hingegen keine zusätzlichen Fremdmaterialien außer dem Osteosynthese- und Nahtmaterial sowie Genta-Coll als antibakterielle Abdeckung des Nasenbodens inkorporiert.

## **5.4 Verwendung ionisierender Strahlung**

Die Anwendung ionisierender Strahlung zur Evaluation einer vorrangig ästhetischen Fragestellung stellt sicherlich Diskussionsbedarf dar.

Es soll an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, dass sich nur zur Interpretation des Weichgewebes keine Indikation für eine DVT-Aufnahme ergibt. Vielmehr lassen sich ohnehin notwendige Aufnahmen in ihrer Befundungs- und Nutzungsmöglichkeit erweitern. Die Vermessung von aus dem DVT oder CT gewonnenen Hartgewebsmodellen findet innerhalb der Zahnmedizin vor allem bei der Planung von dentalen Implantaten eine verbreitete Verwendung [81].

Bei Patienten, die sich einer kombiniert kieferchirurgisch-kieferorthopädischen Therapie unterziehen und bei komplexen kieferorthopädischen Behandlungen mit einer unbedingten 3D-Darstellung der Zähne und/oder des Knochens, ist das dentale Volumentomogramm Mittel der Wahl [59].

Die gewonnenen Röntgendaten wurden entsprechend der aktuell gültigen Fassung der s2k-Leitlinie für die Anwendung der dentalen digitalen Volumentomographie erstellt [107]. Bei allen untersuchten Patienten wurde dadurch die Indikation zur Anwendung ionisierender Strahlung aufgrund der Diagnostik und Therapieplanung im Rahmen der Behandlung von Dysgnathien gewährleistet.

Derartige Untersuchungen sollen nur durchgeführt werden, wenn sich dadurch das Behandlungsergebnis verbessern lässt [85].

Unter 3.1 wurde bereits erwähnt, dass die vorliegende Arbeit entsprechend den ethischen Grundsätzen der Deklaration von Helsinki erstellt wurde.

## 5.5 Zusammenfassende Diskussion

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Breite der Nase, bzw. der Abstand zwischen den Nasenflügeln und der Nasenflügelbasis bei der Vorverlagerung der Maxilla im Rahmen von dysgnathiechirurgischen Eingriffen zunimmt.

Da eine störende Ästhetik eine ausschlaggebende Rolle bei der Entscheidung für die Operation spielt, sollten unbedingt die vorhandenen Möglichkeiten zur Vermeidung des ungewollten Effektes der iatrogenen Nasenverbreiterung angewendet werden [32, 38]. Eine aktuelle Untersuchung von Raschke et al. beschäftigt sich mit der anthropometrischen FRS-Vermessung der Weichgewebseffekte von Patienten nach Advancement der Mandibula. Schlußfolgernd wird dort zum Ausdruck gebracht, dass sich die Planung des Weichgewebsergebnisses im Rahmen orthognath-chirurgischer Patientenfälle positiv beeinflussen lässt [94]. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie stützen diese These. Durch die ermittelten Korrelationen zwischen Hart- und Weichgewebsveränderungen kann die Planung des Weichgewebsergebnisses positiv beeinflusst werden.

Die Untersuchung des Weichgewebes und insbesondere der Effekt chirurgischer Interventionen auf das Weichgewebe mittels dentaler Volumentomographie haben sich in der Literatur etabliert. Da die Datenlage zur Zeit noch ungenügend ist, sind weitere Untersuchungen wünschenswert. Klinisch findet die Vermessung von Weichgewebsrekonstruktionen aus DVT-Daten schon Anwendung im Bereich kephalometrischer Analysen. Spezielle Fallstudien oder Fallberichte zur Anwendung der in der aktuellen Studie vorgestellten Methodik, Thematik und klinischen Konsequenz stehen noch aus.

Als klinische Konsequenz ist zu schlussfolgern, dass der Patient neben der üblichen präoperativen Aufklärung auch darauf hingewiesen werden muß, dass sich insbesondere die äußere Nase in ästhetischer Hinsicht verbreitern könnte. Dadurch entsteht möglicherweise die Notwendigkeit einer plastisch-ästhetisch chirurgischen Korrektur der Nasenbreite. Eine Orientierung können dabei die ermittelten Korrelationen zwischen dem (zumeist durch die Modell-OP präoperativ bekannten) Wert der Vorverlagerung sowie der dadurch folgenden Verbreiterung der Nase sein (siehe Tabellen 15 und 16). Außerdem wird deutlich, dass schon bei der Planung des operativen Eingriffes (sofern dies funktionelle Aspek-

te zulassen) durch eine entsprechende Anpassung der Verlagerungsstrecke das ästhetische Outcome entscheidend positiv beeinflusst werden kann.

## **6. Zusammenfassung und Beantwortung der Fragestellung**

### **6.1 Deutsche Zusammenfassung**

Der Nase als zentralem Bezugspunkt im Gesicht des Menschen kommt für die Gesichtsästhetik eine elementare Rolle zu. In der vorliegenden Studie wurde untersucht, inwiefern sich ein maxilläres Advancement im Rahmen der chirurgischen Korrektur von skelettalen Klasse III Anomalien mit maxillärer Retrognathie auf die Veränderung der Nasenbreite auswirkt. Dies wurde nicht -wie bisher meist üblich- anhand von Fotos oder direkter Meßmethoden am Patienten durchgeführt. Es wurden Daten dreidimensionaler dentaler Volumentomogramme, die zur Behandlungs- und Operationsplanung erstellt wurden, zur Vermessung und Analyse verwendet. Prä- und postoperative Röntgenmodelle wurden nach deren Aufbereitung direkt computergestützt miteinander verglichen. Die digital ermittelte Operationsstrecke in der Sagittalebene wurde statistisch in Beziehung zu der sich ändernden Nasenbreite analysiert.

Es konnte festgestellt werden, dass die Breite der Nase sowohl im Bereich der Nasenflügelbasis als auch in der interalaren Distanz zunimmt. Auf Basis der Ergebnisse wurden Tabellen zum Ablesen der Perzentilen für die Zunahme der Nasenflügelbasis als auch der interalaren Distanz in Abhängigkeit der Verlagerungsstrecke entwickelt.

Für folgende Fragen konnten im Rahmen der vorliegenden Studie befürwortende Erkenntnisse gewonnen werden:

#### **1. Sind Zusammenhänge zwischen Hart- und Weichgewebsverlagerungen nach maxillärem Advancement ermittelbar?**

Es ist klar erkennbar, dass eine chirurgische Bewegung des unter der Gesichtshaut liegenden Knochens immer auch eine Beeinflussung des aufliegenden Weichgewebes zur Folge hat.



## **2. Nimmt die transversale Ausdehnung der äußeren Nase in Abhängigkeit von der sagittalen Verlagerungsstrecke der Maxilla zu?**

Die transversale Ausdehnung der Nase nimmt sowohl bezogen auf die Nasenflügelbasis als auch auf die interalare Distanz zu. Dies war bei allen in dieser Studie untersuchten Patienten der Fall. Es wurden Tabellen zum Ablesen der Perzentilen für die Zunahme der Nasenflügelbasisbreite als auch der interalaren Distanz in Abhängigkeit von der Verlagerungsstrecke entwickelt. Innerhalb der angegebenen Tabellen sind verschiedene Perzentilen der Veränderung der Nasenflügelbasisbreite und der interalaren Distanz für Vorverlagerungsstrecken der Maxilla von 1-10 mm angegeben.

## **3. Sind die ermittelten Werte vergleichbar zu Untersuchungsergebnissen asiatischer Patienten?**

Bezüglich der aus einer Vorverlagerung der Maxilla resultierenden Zunahme der Nasenbreite wurde in der Vergangenheit im asiatischen Raum schon verschiedentlich berichtet. Durch den wissenschaftlich gesicherten interethnischen Unterschied der Nasenmorphologie erscheint ein direkter Vergleich nicht sinnvoll. Über die Verhältnisgröße zwischen Vorverlagerung und resultierendem Effekt lässt sich aufgrund der sehr geringen Datenlage keine verlässliche Aussage treffen.

## **4. Eignet sich die verwendete Methode zur metrischen Analyse?**

Die Methode eignet sich sowohl zur Vermessung linearer Strecken als auch für Winkelbeträge.

## 6.2 Abstract and responses to questions

The nose plays a vital role in the aesthetics of the human face, as a central reference point. The present study investigated the effects on changes in nasal width of maxillary advancement carried out during surgical correction of skeletal Class III anomalies with maxillary retrognathia. The changes were not assessed using photos or direct measurement methods on the patient, as has previously been customary in most cases. Instead, measurement and analysis were carried out using data from three-dimensional cone-beam computed tomography (CBCT) images taken during therapeutic and surgical planning. Following processing, preoperative and postoperative radiographic models were compared directly with computer assistance. The digitally calculated surgical advancement distance on the sagittal plane was analyzed statistically in relation to the changing width of the nose.

It was found that the width of the nose increases both at the alar base and also in terms of the interalar distance. On the basis of the results, tables were developed to show percentile values for increases in the width of the alar base and in the interalar distance relative to the advancement distance.

The study provided positive findings on the following questions:

### **1. Are associations observed between hard-tissue and soft-tissue re-positioning after maxillary advancement?**

It is clearly evident that surgical movement of the bone under the facial skin always affects the soft tissue overlying the bone as well.

### **2. Does the transverse extent of the external nose increase depending on the sagittal maxillary advancement distance?**

The transverse extent of the nose increases both in relation to the alar base and also in relation to the interalar distance. This was the case in all of the patients investigated in this study. Tables were developed to show percentile values for increases in the alar base and in the interalar dis-

tance relative to the advancement distance. The tables give various percentile values for changes in the width of the alar base and changes in the interalar distance, relative to maxillary advancement distances of 1–10 mm.

**3. Are the values obtained comparable with research results in Asian patients?**

There have been varying reports from Asian countries in the past regarding the increase in nasal width resulting from maxillary advancement. In view of the scientifically confirmed interethnic difference in nasal morphology, however, direct comparison does not appear useful. Due to the extreme scarcity of data, no reliable conclusions can be drawn regarding the ratio between advancement and the resulting effect.

**4. Is the method used suitable for metric analysis?**

The method is suitable for measuring both linear distances and also angles.

## 7. Literaturverzeichnis

1. Al-Qattan MM, Alsaeed AA, Al-Madani OK, Al-Amri NA, Al-Dahian NA: **Anthropometry of the Saudi Arabian nose.** *J Craniofac Surg* 2012, **23**(3):821-824.
2. Alio-Sanz JJ, Iglesias-Conde C, Lorenzo-Pernia J, Iglesias-Linares A, Mendoza-Mendoza A, Solano-Reina E: **Cranial base and maxillary changes in patients treated with Frankel's functional regulator (1b).** *Med Oral Patol Oral Cir Bucal* 2012, **17**(4):e689-696.
3. Altman JI, Oeltjen JC: **Nasal deformities associated with orthognathic surgery: analysis, prevention, and correction.** *J Craniofac Surg* 2007, **18**(4):734-739.
4. Angle E: **Classification of the malocclusion.** *Dent Cosmos* 1899, **41**:248-350.
5. Arnett GW, McLaughlin RP: **Facial and dental planning for orthodontists and oral surgeons.** Edinburgh [u.a.]: Mosby; 2004: 174.
6. Arridge S, Moss JP, Linney AD, James DR: **Three dimensional digitization of the face and skull.** *J Maxillofac Surg* 1985, **13**(3):136-143.
7. Baik HS, Kim SY: **Facial soft-tissue changes in skeletal Class III orthognathic surgery patients analyzed with 3-dimensional laser scanning.** *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2010, **138**(2):167-178.
8. Baumrind S, Frantz RC: **The reliability of head film measurements. 1. Landmark identification.** *Am J Orthod* 1971, **60**(2):111-127.
9. Betts NJ, Vig KW, Vig P, Spalding P, Fonseca RJ: **Changes in the nasal and labial soft tissues after surgical repositioning of the maxilla.** *Int J Adult Orthodon Orthognath Surg* 1993, **8**(1):7-23.
10. Björk A: **Cranial base development.** *Am J Orthod* 1955, **41**(3):198-225.
11. Bongartz J: **Hochauflösende dreidimensionale Gesichtsprofilvermessung mit kurzgepulster Holographie.** Düsseldorf: Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf; 2002.
12. Bottini DJ, Gentile P, Cervelli G, Cervelli V: **Changes in nasal profile following maxillomandibular osteotomy for prognathism.** *Orthodontics (Chic)* 2013, **14**(1):e30-38.
13. Bouchard C, Landry PE: **Precision of maxillary repositioning during orthognathic surgery: a prospective study.** *Int J Oral Maxillofac Surg* 2013, **42**(5):592-596.

14. Buzug T: **Einführung in die Computertomographie**. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag; 2004: 138, 144.
15. Cevidanes LH, Motta A, Proffit WR, Ackerman JL, Styner M: **Cranial base superimposition for 3-dimensional evaluation of soft-tissue changes**. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2010, **137**(4 Suppl):S120-129.
16. Choi JW, Lee JY, Oh TS, Kwon SM, Yang SJ, Koh KS: **Frontal soft tissue analysis using a 3 dimensional camera following two-jaw rotational orthognathic surgery in skeletal class III patients**. *J Craniomaxillofac Surg* 2013.
17. Choi JW, Lee JY, Oh TS, Kwon SM, Yang SJ, Koh KS: **Frontal soft tissue analysis using a 3 dimensional camera following two-jaw rotational orthognathic surgery in skeletal class III patients**. *J Craniomaxillofac Surg* 2014, **42**(3):220-226.
18. Collins PC, Epker BN: **The alar base cinch: a technique for prevention of alar base flaring secondary to maxillary surgery**. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1982, **53**(6):549-553.
19. Daboul A, Schwahn C, Schaffner G, Soehnel S, Samietz S, Aljaghsi A, Habes M, Hegenscheid K, Puls R, Klink T *et al*: **Reproducibility of Frankfort horizontal plane on 3D multi-planar reconstructed MR images**. *PLoS One* 2012, **7**(10):e48281.
20. Dahlberg G: **Statistical methods for medical and biological students**. New York; 1940.
21. Deutsche Gesellschaft für Anthropologie EuU: **Frankfurt am Main den 14., 15. und 16. August 1882 XIIIte allgemeinen Versammlung der deutschen Anthropologischen Gesellschaft**. Frankfurt am Main; 1882.
22. Dreisow A: **Dreidimensionale Veränderung der Morphologie des Gesichtes während kieferorthopädisch-kieferchirurgischer Therapie**. Jena; 2008.
23. Eberbach A: **Profilveränderungen bei chirurgischer Vorverlagerung der Mandibula und ihre Prognose durch computergestützte Kephalometrie**. Freiburg i. B.; 2002.
24. Eletr SG, F; Sagheb, K; Draenert, F: **Weichteildarstellung auf Basis von DICOM-Daten dentaler DVT-Geräte**. *Int J Digital Dental News* 2008, **10**:14-18.
25. Erbe M, Lehotay M, Gode U, Wigand ME, Neukam FW: **Nasal airway changes after Le Fort I--impaction and advancement: anatomical and functional findings**. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2001, **30**(2):123-129.
26. Farkas LG, Katic MJ, Forrest CR, Alt KW, Bagic I, Baltadjiev G, Cunha E,

- Cvicelova M, Davies S, Erasmus I *et al*: **International anthropometric study of facial morphology in various ethnic groups/races**. *J Craniofac Surg* 2005, **16**(4):615-646.
27. Farkas LP, JH; Katic, M: **Anthropometric anatomical and morphological nose widths in Canadian Caucasian adults**. *Can J Plast Surg* 1998, **6**(3):149-151.
  28. Farman AG: **Applying DICOM to dentistry**. *J Digit Imaging* 2005, **18**(1):23-27.
  29. Fourie Z, Damstra J, Gerrits PO, Ren Y: **Accuracy and repeatability of anthropometric facial measurements using cone beam computed tomography**. *Cleft Palate Craniofac J* 2011, **48**(5):623-630.
  30. Gabor D, Kock WE, Stroke GW: **Holography**. *Science* 1971, **173**(3991):11-23.
  31. Gorgulu S, Gokce SM, Olmez H, Sagdic D, Ors F: **Nasal cavity volume changes after rapid maxillary expansion in adolescents evaluated with 3-dimensional simulation and modeling programs**. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2011, **140**(5):633-640.
  32. Göz G: **Die Motivation bei kieferorthopädischen Operationen**. Freiburg i. Br.: Albert-Ludwigs-Universität Freiburg i. Br.; 1981.
  33. Groddeck A: **Planungsziele und postoperative Ergebnisse bei skelettverlagernden Operationen des Ober- und Unterkiefers**. Bochum: Ruhr-Universität Bochum; 2007.
  34. Guymon M, Crosby DR, Wolford LM: **The alar base cinch suture to control nasal width in maxillary osteotomies**. *Int J Adult Orthodon Orthognath Surg* 1988, **3**(2):89-95.
  35. Han SB, HS; Kim, KD; Yu. HS: **Facial soft tissue measuring analysis of normal occlusion using three-dimensional CT imaging**. *The Korean Journal of Orthodontics* 2005, **35**(6):409-419.
  36. Hanzelka T, Foltan R, Horka E, Sedy J: **Reduction of the negative influence of patient motion on quality of CBCT scan**. *Med Hypotheses* 2010, **75**(6):610-612.
  37. Haubitz I: **Beschreibung statistischer Methoden**. In. Würzburg: Rechenzentrum Universität Würzburg; 1995.
  38. Hellak AF, Kirsten B, Schauseil M, Davids R, Kater WM, Korbmacher-Steiner HM: **Influence of maxillary advancement surgery on skeletal and soft-tissue changes in the nose - a retrospective cone-beam computed tomography study**. *Head Face Med* 2015, **11**:23.
  39. Holberg C: **Erfassung von Gesichtsoberflächen durch ein**

**lichtcodiertes Triangulationsverfahren.** Tübingen: Eberhard-Karls-Universität zu Tübingen; 2002.

40. Holberg C, Heine AK, Geis P, Schwenzer K, Rudzki-Janson I: **Three-dimensional soft tissue prediction using finite elements. Part II: Clinical application.** *J Orofac Orthop* 2005, **66**(2):122-134.
41. Holberg C, Schwenzer K, Rudzki-Janson I: **Three-dimensional soft tissue prediction using finite elements. Part I: Implementation of a new procedure.** *J Orofac Orthop* 2005, **66**(2):110-121.
42. Holtgrave EA: **Significance of the anterior nasal spine in the mid-face profile.** *Fortschr Kieferorthop* 1984, **45**(1):15-23.
43. Hönig JF: **Maxillomandibuläre Umstellungsosteotomien [mit DVD Video].** Darmstadt: Steinkopff; 2002: 24, 38-56.
44. Honn M, Goz G: **The ideal of facial beauty: a review.** *J Orofac Orthop* 2007, **68**(1):6-16.
45. Honrado CP, Lee S, Bloomquist DS, Larrabee WF, Jr.: **Quantitative assessment of nasal changes after maxillomandibular surgery using a 3-dimensional digital imaging system.** *Arch Facial Plast Surg* 2006, **8**(1):26-35.
46. Horch H-H, Bier Jr, Haunfelder D, Diedrich P: **Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie**, 4., vollst. überarb. Aufl. edn. München [u.a.]: Elsevier; 2007: 554-605.
47. Hounsfield GN: **Computerized transverse axial scanning (tomography). 1. Description of system.** *Br J Radiol* 1973, **46**(552):1016-1022.
48. Hounsfield GN: **Historical notes on computerized axial tomography.** *J Can Assoc Radiol* 1976, **27**(3):135-142.
49. Hwang DS, Kim YI, Park SB, Lee JY: **Midfacial soft tissue changes after leveling Le Fort I osteotomy with differential reduction. Cone-beam computed tomography volume superimposition.** *Angle Orthod* 2012, **82**(3):424-431.
50. Jager A, Flechsig G, Luhr HG: **[The motivation and experiences of patients in connection with orthodontic-oral surgery combined therapy. A patient survey with consideration of the clinical and psychosocial factors].** *Fortschr Kieferorthop* 1995, **56**(5):265-273.
51. Johnson BM, McNamara JA, Bandeen RL, Baccetti T: **Changes in soft tissue nasal widths associated with rapid maxillary expansion in prepubertal and postpubertal subjects.** *Angle Orthod* 2010, **80**(6):995-1001.



52. Kajikawa Y: **Changes in soft tissue profile after surgical correction of skeletal class III malocclusion.** *J Oral Surg* 1979, **37**(3):167-174.
53. Kau CH, Cronin A, Durning P, Zhurov AI, Sandham A, Richmond S: **A new method for the 3D measurement of postoperative swelling following orthognathic surgery.** *Orthod Craniofac Res* 2006, **9**(1):31-37.
54. KaVo-Dental-GmbH: **KaVo 3D eXam Benutzerhandbuch.** Biberach/Riß: KaVo Dental GmbH; 2009.
55. Khambay B, Nebel JC, Bowman J, Walker F, Hadley DM, Ayoub A: **3D stereophotogrammetric image superimposition onto 3D CT scan images: the future of orthognathic surgery. A pilot study.** *Int J Adult Orthodon Orthognath Surg* 2002, **17**(4):331-341.
56. Kim YI, Kim JR, Park SB: **Three-dimensional analysis of midfacial soft tissue changes according to maxillary superior movement after horizontal osteotomy of the maxilla.** *J Craniofac Surg* 2010, **21**(5):1587-1590.
57. Kim YI, Park SB, Son WS, Hwang DS: **Midfacial soft-tissue changes after advancement of maxilla with Le Fort I osteotomy and mandibular setback surgery: comparison of conventional and high Le Fort I osteotomies by superimposition of cone-beam computed tomography volumes.** *J Oral Maxillofac Surg* 2011, **69**(6):e225-233.
58. Kinzinger G, Frye L, Diedrich P: **Class II treatment in adults: comparing camouflage orthodontics, dentofacial orthopedics and orthognathic surgery--a cephalometric study to evaluate various therapeutic effects.** *J Orofac Orthop* 2009, **70**(1):63-91.
59. Korbmacher H, Kahl-Nieke B, Schollchen M, Heiland M: **Value of two cone-beam computed tomography systems from an orthodontic point of view.** *J Orofac Orthop* 2007, **68**(4):278-289.
60. Landes CA, Bitsakis J, Diehl T, Bitter K: **Introduction of a three-dimensional anthropometry of the viscerocranium. Part I: measurement of craniofacial development and establishment of standard values and growth functions.** *J Craniomaxillofac Surg* 2002, **30**(1):18-24.
61. Lee JY, Kim YI, Hwang DS, Park SB: **Effect of setback Le Fort I osteotomy on midfacial soft-tissue changes as evaluated by cone-beam computed tomography superimposition for cases of skeletal Class III malocclusion.** *Int J Oral Maxillofac Surg* 2013, **42**(6):790-795.
62. Legan HL, Burstone CJ: **Soft tissue cephalometric analysis for orthognathic surgery.** *J Oral Surg* 1980, **38**(10):744-751.
63. Lin SS, Kerr WJ: **Soft and hard tissue changes in Class III patients**

- treated by bimaxillary surgery.** *Eur J Orthod* 1998, **20**(1):25-33.
64. Ludlow JB, Gubler M, Cevitanes L, Mol A: **Precision of cephalometric landmark identification: cone-beam computed tomography vs conventional cephalometric views.** *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2009, **136**(3):312 e311-310; discussion 312-313.
  65. Maal TJ, Verhamme LM, van Loon B, Plooi JM, Rangel FA, Kho A, Bronkhorst EM, Berge SJ: **Variation of the face in rest using 3D stereophotogrammetry.** *Int J Oral Maxillofac Surg* 2011, **40**(11):1252-1257.
  66. Maass CD, F.; Noo, F.; Kachelriess, M.: **Comparing CT Reconstruction Algorithms Regarding Cone-Beam Artifact Performance.** In. Erlangen: Inst. of Med. Phys. (IMP), Univ. of Erlangen-Nurnberg; 2010.
  67. Macleod I, Heath N: **Cone-beam computed tomography (CBCT) in dental practice.** *Dent Update* 2008, **35**(9):590-592, 594-598.
  68. Mansour S, Burstone C, Legan H: **An evaluation of soft-tissue changes resulting from Le Fort I maxillary surgery.** *Am J Orthod* 1983, **84**(1):37-47.
  69. McCance AM, Moss JP, Fright WR, James DR, Linney AD: **A three dimensional analysis of soft and hard tissue changes following bimaxillary orthognathic surgery in skeletal III patients.** *Br J Oral Maxillofac Surg* 1992, **30**(5):305-312.
  70. McCance AM, Moss JP, Fright WR, Linney AD, James DR: **Three-dimensional analysis techniques--Part 1: Three-dimensional soft-tissue analysis of 24 adult cleft palate patients following Le Fort I maxillary advancement: a preliminary report.** *Cleft Palate Craniofac J* 1997, **34**(1):36-45.
  71. Miethke RR: **Zur Lokalisationsgenauigkeit kephalometrischer Referenzpunkte.** *Prakt Kieferorthop* 1989, **3**:107-122.
  72. Millard DR, Jr.: **The alar cinch in the flat, flaring nose.** *Plast Reconstr Surg* 1980, **65**(5):669-672.
  73. Mischkowski RA, Bongartz J, Giel D, Frey S, Thelen A, Hering P: **Holographic face models as planning tool in maxillofacial surgery.** *Int J Comput Dent* 2004, **7**(4):339-345.
  74. Mitchell C, Oeltjen J, Panthaki Z, Thaller SR: **Nasolabial aesthetics.** *J Craniofac Surg* 2007, **18**(4):756-765.
  75. Mommaerts MY, Lippens F, Abeloos JV, Neyt LF: **Nasal profile changes after maxillary impaction and advancement surgery.** *J Oral Maxillofac Surg* 2000, **58**(5):470-475; discussion 475-476.

76. Moss JP: **The use of three-dimensional imaging in orthodontics.** *Eur J Orthod* 2006, **28**(5):416-425.
77. Mozzo P, Procacci C, Tacconi A, Martini PT, Andreis IA: **A new volumetric CT machine for dental imaging based on the cone-beam technique: preliminary results.** *Eur Radiol* 1998, **8**(9):1558-1564.
78. Naji P, Alsufyani NA, Lagravere MO: **Reliability of anatomic structures as landmarks in three-dimensional cephalometric analysis using CBCT.** *Angle Orthod* 2013.
79. Navarro Rde L, Oltramari-Navarro PV, Fernandes TM, Oliveira GF, Conti AC, Almeida MR, Almeida RR: **Comparison of manual, digital and lateral CBCT cephalometric analyses.** *J Appl Oral Sci* 2013, **21**(2):167-176.
80. Nemtoi A, Czink C, Haba D, Gahleitner A: **Cone beam CT: a current overview of devices.** *Dentomaxillofac Radiol* 2013, **42**(8):20120443.
81. Neugebauer J, Ritter L, Mischkowski R, Zoller JE: **Three-dimensional diagnostics, planning and implementation in implantology.** *Int J Comput Dent* 2006, **9**(4):307-319.
82. Nötzel F, Schultz C: **Leitfaden der kieferorthopädischen Diagnostik Analysen und Tabellen für die Praxis ; mit 75 Tabellen**, 2., überarb. Aufl. edn. Köln: Dt. Zahnärzte-Verl.; 2009: 61,83,144,147.
83. O'Ryan F, Schendel S: **Nasal anatomy and maxillary surgery. I. Esthetic and anatomic principles.** *Int J Adult Orthodon Orthognath Surg* 1989, **4**(1):27-37.
84. Oh KM, Seo SK, Park JE, Sim HS, Cevidanes LH, Kim YJ, Park YH: **Post-operative soft tissue changes in patients with mandibular prognathism after bimaxillary surgery.** *J Craniomaxillofac Surg* 2013, **41**(3):204-211.
85. Oz U, Orhan K, Abe N: **Comparison of linear and angular measurements using two-dimensional conventional methods and three-dimensional cone beam CT images reconstructed from a volumetric rendering program in vivo.** *Dentomaxillofac Radiol* 2011, **40**(8):492-500.
86. Park N, Posnick JC: **Accuracy of analytic model planning in bimaxillary surgery.** *Int J Oral Maxillofac Surg* 2013, **42**(7):807-813.
87. Park SB, Yang YM, Kim YI, Cho BH, Jung YH, Hwang DS: **Effect of bimaxillary surgery on adaptive condylar head remodeling: metric analysis and image interpretation using cone-beam computed tomography volume superimposition.** *J Oral Maxillofac Surg* 2012, **70**(8):1951-1959.

88. Park SB, Yoon JK, Kim YI, Hwang DS, Cho BH, Son WS: **The evaluation of the nasal morphologic changes after bimaxillary surgery in skeletal class III malocclusion by using the superimposition of cone-beam computed tomography (CBCT) volumes.** *J Craniomaxillofac Surg* 2012, **40**(4):e87-92.
89. Patel KB, Mendonca DA, Skolnick G, Woo AS: **Anatomical study of the medial crura and the effect on nasal tip projection in open rhinoplasty.** *Plast Reconstr Surg* 2013, **132**(4):787-793.
90. Pears N, Liu Y, Bunting P: **3D Imaging, Analysis and Applications.** London: Springer London; 2012: 151.
91. Polat OO, Kaya B: **Changes in cranial base morphology in different malocclusions.** *Orthod Craniofac Res* 2007, **10**(4):216-221.
92. Proll C: **Optische 3D-Messungen zur Analyse von Gesichtsoberflächenveränderungen orthognath-chirurgischer Patientenfälle.** Münster: Westfälische Wilhelms-Universität Münster; 2010.
93. Radney LJ, Jacobs JD: **Soft-tissue changes associated with surgical total maxillary intrusion.** *Am J Orthod* 1981, **80**(2):191-212.
94. Raschke GF, Rieger UM, Bader RD, Guentsch A, Schaefer O, Schultze-Mosgau S: **Soft tissue outcome after mandibular advancement--an anthropometric evaluation of 171 consecutive patients.** *Clin Oral Investig* 2013, **17**(5):1415-1423.
95. Rauso R, Freda N, Curinga G, Del Pero C, Tartaro G: **An alternative alar cinch suture.** *Eplasty* 2010, **10**:e69.
96. Rauso R, Tartaro G, Tozzi U, Colella G, Santagata M: **Nasolabial changes after maxillary advancement.** *J Craniofac Surg* 2011, **22**(3):809-812.
97. Regensburger K, Schenk HJ, Wiemann C: **Stereophotogrammetry and its use in stomatological research--a literature survey (author's transl).** *Zahn Mund Kieferheilkd Zentralbl* 1980, **68**(8):786-800.
98. Reitemeier B, Schwenzer N, Ehrenfeld M, Biffar R: **Einführung in die Zahnmedizin : 56 Tabellen.** Stuttgart [u.a.]: Thieme; 2006: 94.
99. Röhrig J: **Morphologie und metrische Dimensionen des lateralen oberen Inzisivus - Eine 3D-Untersuchung mittels Laserscanner und Flächenrückführungsprogramm.** München: Ludwig-Maximilians-Universität zu München; 2007.
100. Rustemeyer J, Martin A: **Soft tissue response in orthognathic surgery patients treated by bimaxillary osteotomy: cephalometry compared with 2-D photogrammetry.** *Oral Maxillofac Surg* 2013, **17**(1):33-41.

101. Ryckman MS, Harrison S, Oliver D, Sander C, Boryor AA, Hohmann AA, Kilic F, Kim KB: **Soft-tissue changes after maxillomandibular advancement surgery assessed with cone-beam computed tomography.** *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2010, **137**(4 Suppl):S86-93.
102. Schamsawary S, Esser E: **Dysgnathien: interdisziplinäre Therapiekonzepte von der Planung bis zur Operation ; mit DVD**, 1. Aufl. edn. München: Elsevier; 2007: 2.
103. Schauseil M: **Dreidimensionale Überlagerungen an einem frei definierbaren Bereich: Vorstellung einer neuen Methode.** Homburg/Saar: Universität des Saarlandes; 2013.
104. Schedin S, Pedrini G, Tiziani HJ, Aggarwal AK: **Comparative study of various endoscopes for pulsed digital holographic interferometry.** *Appl Opt* 2001, **40**(16):2692-2697.
105. Schneck P: **3D-Weichgewebsanalyse – Ermittlung von Durchschnittswerten und Korrelationen zur FRS-Analyse.** Würzburg; 2010.
106. Schulze D: **Ressortforschungsberichte zur kerntechnischen Sicherheit und zum Strahlenschutz.** In: *Ermittlung der effektiven Dosis bei DVT-Geräten im Verhältnis zu einer Messgröße - Vorhaben 3609S40003.* Freiburg i. B.: Bundesamte für Strahlenschutz (BfS); 2013.
107. Schulze R: **s2k-Leitlinie Dentale digitale Volumentomographie.** In: 9. Edited by AWMF. Mainz; 2013.
108. Schwarz A: **Die Röntgenostatik.** Wien: Urban & Schwarzenberg; 1958.
109. Schwenzer N, Bacher M: **Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie**, 4., vollst. überarb. und erw. Aufl. edn. Stuttgart [u.a.]: Thieme; 2011: 234.
110. Shaw K, McIntyre G, Mossey P, Menhinick A, Thomson D: **Validation of conventional 2D lateral cephalometry using 3D cone beam CT.** *J Orthod* 2013, **40**(1):22-28.
111. Stabrun AE, Danielsen K: **Precision in cephalometric landmark identification.** *Eur J Orthod* 1982, **4**(3):185-196.
112. Steinhauser EW: **[Retrospective view of the development of malocclusion surgery and prospects].** *Mund Kiefer Gesichtschir* 2003, **7**(6):371-379.
113. Stelzenmüller W, Bias F: **Therapie von Kiefergelenkschmerzen : ein Behandlungskonzept für Zahnärzte, Kieferorthopäden und Physiotherapeuten ; 94 Tabellen ; [inkl. CD-ROM]**, 2., überarb. und erw. Aufl. edn. Stuttgart [u.a.]: Thieme; 2010: 454-462.

114. Stewart A, McCance AM, James DR, Moss JP: **Three-dimensional nasal changes following maxillary advancement in cleft patients.** *Int J Oral Maxillofac Surg* 1996, **25**(3):171-177.
115. Tessier P: **The classic reprint: experimental study of fractures of the upper jaw. 3. Rene Le Fort, M.D., Lille, France.** *Plast Reconstr Surg* 1972, **50**(6):600-607.
116. Thiel H, Haßfeld, S: **Schnittbilddiagnostik in MKG-Chirurgie und Zahnmedizin.** Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag; 2001: 2-3.
117. Thomas MD, Pfaff MJ, Tonn J, Steinbacher DM: **Normal nasolabial anatomy in infants younger than 1 year of age.** *Plast Reconstr Surg* 2013, **131**(4):574e-581e.
118. Tse R, Booth L, Keys K, Saltzman B, Stuhau E, Kapadia H, Heike C: **Reliability of nasolabial anthropometric measures using three-dimensional stereophotogrammetry in infants with unrepaired unilateral cleft lip.** *Plast Reconstr Surg* 2014, **133**(4):530e-542e.
119. Verhoeven TJ, Coppen C, Barkhuysen R, Bronkhorst EM, Merckx MA, Berge SJ, Maal TJ: **Three dimensional evaluation of facial asymmetry after mandibular reconstruction: validation of a new method using stereophotogrammetry.** *Int J Oral Maxillofac Surg* 2013, **42**(1):19-25.
120. Verze L, Bianchi FA, Schellino E, Ramieri G: **Soft tissue changes after orthodontic surgical correction of jaws asymmetry evaluated by three-dimensional surface laser scanner.** *J Craniofac Surg* 2012, **23**(5):1448-1452.
121. **Vitruvian Man** [[http://www.lucnix.be/main.php?q2\\_itemId=43332](http://www.lucnix.be/main.php?q2_itemId=43332)]: Viatour, Luc 2007.
122. Wangerin KK, W; Zoder, W: **Ästhetik und Funktion in der orthognathen Chirurgie.** *Der MKG-Chirurg* 2011, **Volume 4**(Issue 3):148-159
123. Westermarck AH, Bystedt H, Von Konow L, Sallstrom KO: **Nasolabial morphology after Le Fort I osteotomies. Effect of alar base suture.** *Int J Oral Maxillofac Surg* 1991, **20**(1):25-30.
124. Wolford LM, Karras SC, Mehra P: **Considerations for orthognathic surgery during growth, part 1: mandibular deformities.** *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2001, **119**(2):95-101.
125. Wolford LM, Karras SC, Mehra P: **Considerations for orthognathic surgery during growth, part 2: maxillary deformities.** *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2001, **119**(2):102-105.

126. Zachow S: **Computergestützte 3D-Osteotomieplanung in der Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie unter Berücksichtigung der räumlichen Weichgewebeanordnung.** Berlin: TU Berlin; 2005.
127. Zimmer-Brossy M, Bosnjaković-Büscher S, Bast B: **Lehrbuch der röntgendiagnostischen Einstelltechnik**, 5., neubearb. Aufl. edn. Berlin [u.a.]: Springer; 1998: 13.

## **8. Anhang**

### **8.1 Tabellenverzeichnis**

**Tabelle 0** Abkürzungsverzeichnis

**Tabelle 1** Geschlecht und Alter der untersuchten Patienten

**Tabelle 2** Konfiguration der zusätzlichen operativen Maßnahmen zu dem  
maxillären Advancement

**Tabelle 3** Fehlerabschätzung der skelettalen Messungen nach der  
Dahlberg-Formel

**Tabelle 4** Korrelation der Erstmessung mit der Kontrollmessung des  
OK-Advancements und der Erstmessung mit der Zunahme von Erst- zu  
Kontrollmessung

**Tabelle 5** Unterschiede der skelettalen Messungen

**Tabelle 6** Skelettale Verlagerung in der Sagittalebene

**Tabelle 7** Fehlerabschätzung der Weichgewebs-Messungen nach der  
Dahlberg-Formel

**Tabelle 8** Korrelation Erst- mit Kontrollmessung

**Tabelle 9** Gemittelte Weichgewebe-Messungen

**Tabelle 10** Vergleich der Werte zum Zeitpunkt T0 und T1

**Tabelle 11** Veränderung der Nasenbreite und des Nasolabialwinkels

**Tabelle 12** Geschlecht und Nasenbreite

**Tabelle 13** Veränderungen der äußeren Nase im Bezug auf die skelettale  
Verlagerung der Maxilla

**Tabelle 14** Operationsverfahren und Weichgewebssmessungen

**Tabelle 15** Approximierte Perzentile der Alb je nach OK-Adv.

**Tabelle 16** Approximierte Perzentile der Al je nach OK-Adv.

**Tabelle 17** Vergleich der Messwerte mit Farkas [27]



## **8.2 Abbildungsverzeichnis**

**Abb. 1** 3D-Visualisierung mit 500 HU

**Abb. 2** 3D-Visualisierung mit (-)800 HU

**Abb. 3** Oberfläche der Software Mimics

**Abb. 4** Oberfläche der Software Geomagic Control 2014

**Abb. 5** Leonardo da Vinci, Der vitruvianische Mensch

**Abb. 6** Auswahl des die patientenspezifischen DICOM-Daten enthaltenden Ordners

**Abb. 7** Auswahl der Bildserie

**Abb. 8** Einzelne Schichten zum Durchscrollen

**Abb. 9** Erstellen einer Knochenmaske

**Abb. 10** Erstellen einer Weichgewebemaske

**Abb. 11** Berechnung des 3D-Objektes aus einer Weichgewebemaske

**Abb. 12** Einstellen des Schwellenwertes A) zu hoch B) passend c) zu niedrig

**Abb. 13** Berechnung des 3D-Objektes aus einer Knochenmaske

**Abb. 14** Einstellen des Schwellenwertes A) zu hoch B) passend c) zu niedrig

**Abb. 15** Erzeugung von \*.stl-Dateien

**Abb. 16** Die Testkörper nach Erstellung der 3D-Modelle in Mimics

**Abb. 17** Die fertig gedruckten Testkörper

**Abb. 18** Importieren der zu vergleichenden \*.stl-Dateien über Button "Import"

**Abb. 19** Auswahl der 3D-Modelle als "Reference" und "Test"

**Abb. 20** "N-Punkt Ausrichtung" der Modelle

**Abb. 21** Auswahl eines Referenzbereiches um das Foramen magnum

**Abb. 22** Überlagerung am ausgewählten Bereich um das Foramen magnum

**Abb. 23** 3D-Vergleich zwischen einer prä- und post-OP-Knochenrekonstruktion

**Abb. 24** Festlegen einer Ebene für den 2D-Vergleich parallel zur FH

**Abb. 25** Visualisierung der sagittalen Verlagerung in mm

**Abb. 26** Die überlagerten Modelle der geröntgten Testkörper; A-C

**Abb. 27** Darstellung der Weichteilpunkte

**Abb. 28** Exemplarischer Verlauf des Nasolabialwinkels

**Abb. 29** Exemplarische Darstellung der Messstrecken

**Abb. 30** Markierung der Weichgewebspunkte in Mimics

**Abb. 31** Punkt Alr; A-C

**Abb. 32** Punkt Albr; A-C

**Abb. 33** Alter und Geschlecht

**Abb. 34** Unterschied des OK-Advancements an frontalen Regionen

**Abb. 35** Sagittale OK-Verlagerung in den einzelnen Regionen

**Abb. 36** Erst- und Kontrollmessungen Nasenflügelbasisbreite

**Abb. 37** Erst- und Kontrollmessungen der Nasenflügelbreite

**Abb. 38** Erst- und Kontrollmessungen Sn-Ls-Co (Nasolabialwinkel)



**Abb. 39** Alb zum Zeitpunkt T0 und T1

**Abb. 40** Al zum Zeitpunkt T0 und T1

**Abb. 41** Sn-Ls-Co zum Zeitpunkt T0 und T1

**Abb. 42** A) Power-Analyse für Alb B) Power-Analyse für Al C) Power-Analyse für Sn-Ls-Co

## 8.3 Aufklärungsbogen für Studienteilnehmer

<div style="background-color: #e6f2ff; padding: 5px; border: 1px solid #add8e6; margin-bottom: 10px;"><b>Dr med Dr med dent Wolfgang Kater</b> → Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie</div> <div style="border: 1px solid #add8e6; padding: 5px; margin-top: 20px;"><small>Dr Dr Wolfgang Kater &gt;Hessenring 128 &gt;61348 Bad Homburg</small></div>	<div style="text-align: center; margin-bottom: 10px;"></div> <div style="border: 1px solid #add8e6; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"><div style="display: flex; align-items: center;"><div>Hessenring 128 61348 Bad Homburg</div></div><div style="display: flex; align-items: center;"><div style="margin-right: 10px;">tel_</div><div>06172- 17 10 60</div></div><div style="display: flex; align-items: center;"><div style="margin-right: 10px;">fax_</div><div>06172- 17 10 666</div></div><div style="display: flex; align-items: center;"><div style="margin-right: 10px;">@</div><div>mail_ info@dysgnathie.de</div></div><div style="display: flex; align-items: center;"><div style="margin-right: 10px;">web_</div><div>www.dysgnathie.de</div></div></div> <div style="border: 1px solid #add8e6; padding: 5px;"><div style="display: flex; align-items: center;"><div style="margin-right: 10px;">date_</div><div>TT.MM.JJJ</div></div></div>
---	---

Patient: Nachname, Vorname geb. am TT MM JJJJ

**Einwilligungserklärung**

Teilnahme an der klinischen Studie:

◀ **„Maxilläres Advancement und Veränderung des perinasalen Weichgewebes.  
Eine retrospektive Studie mittels dentaler Volumetomographie.“**

Hiermit stimme ich freiwillig einer Teilnahme an der oben genannten Studie zu. Ich bestätige den Erhalt der Informationsschrift und erkläre zudem ausführlich über den Ablauf und den Inhalt der Studie unterrichtet worden zu sein. Ich hatte Gelegenheit Fragen zu stellen. Die von mir gestellten Fragen wurden ausführlich und zu meiner Zufriedenheit beantwortet.

**"Ich wurde darüber aufgeklärt und stimme zu, dass meine in der Studie erhobenen Daten in pseudonymisierter\* Form aufgezeichnet, ausgewertet und ggf. auch in pseudonymisierter Form weitergegeben werden können. Dritte erhalten jedoch keinen Einblick in personenbezogene Daten. Bei der Veröffentlichung von Ergebnissen der Studie wird mein Name ebenfalls nicht genannt."**

\* pseudonymisiert bedeutet, dass keine Angaben von Namen oder Initialen verwendet werden, sondern nur ein Nummern- und/oder Buchstabencode, evtl. mit Angabe des Geburtsjahres. Die Daten sind gegen unbefugten Zugriff gesichert. Eine Entschlüsselung erfolgt nur bei Rücktritt von der Studie zum Löschen der individuellen Daten.

---

---

Datum

Unterschrift

Informationen zum Aufklärungsblatt bzgl. der Teilnahme an der Studie

**„Maxilläres Advancement und Veränderung des perinasalen Weichgewebes.  
Eine retrospektive Studie mittels dentaler Volumentomographie.“**

Sehr geehrte Patientin,  
sehr geehrter Patient,

die „große“ Umstellungsoperation Ihrer Kiefer sowie die Entfernung der Titanplättchen haben Sie gut überstanden.

Möglicherweise hat sich mit Ihrer Operation nicht nur die Verzahnung verbessert, sondern auch die Nasenatmung, die Zungenfunktion, die Kiefergelenks-Symptomatik und evtl. sogar die Ästhetik.

Sie gehören damit zu den „Mutigen“, die den Schritt gewagt und – hoffentlich – gewonnen haben.

Bei der Durchsicht Ihrer Unterlagen haben wir festgestellt, dass die Röntgenbilder, die wir im Rahmen Ihrer Behandlung angefertigt haben, sich sehr gut eignen, um einigen wichtigen wissenschaftlichen Fragestellungen nachzugehen.

Der Effekt von chirurgischen Kieferverlagerungen auf die aufgelagerten Weichgewebe des Gesichtes wurde schon in der Vergangenheit in einigen Studien untersucht.

Mit den bei Ihnen angefertigten Röntgendaten möchten wir dies durch eine neue Methode genauer untersuchen und insbesondere der Frage nachgehen, inwiefern sich die äußere Nase, bzw. das Gesicht rund um die Nase durch die Operation verändert. Unter anderem soll dabei die Frage geklärt werden, ob zum Beispiel bei einer Vorverlagerung des Oberkiefers die Nase breiter wird.

Mit den vorhandenen Daten, die natürlich völlig pseudonymisiert (Ersetzen des Namens und anderer Identifikationsmerkmale durch ein Kennzeichen) verwendet werden, möchte einer der Zahnärzte unserer Praxis, Herr Bernhard Kirsten, promovieren, das heißt eine Studie durchführen und darauf folgend eine Doktorarbeit verfassen. Die Studie wird unter Leitung von Frau Prof. Dr. Korbmacher-Steiner (Abteilung für Kieferorthopädie, Medizinisches Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde, Universitätsklinikum Marburg) durchgeführt.

Wir würden uns sehr freuen, wenn Sie uns die Verwendung der im Rahmen Ihrer Behandlung angefertigten Röntgenbilder auf dem folgenden Blatt durch Ihre Einwilligung gestatten würden und uns im beigelegten bereits frankierten Rückumschlag zusenden.

Bei Rückfragen stehen wir Ihnen gerne jederzeit zur Verfügung.

Dr. Dr. W. Kater

ZA B. Kirsten

## **8.4 Tabellarischer Lebenslauf**

vor Drucklegung entfernt

## **8.5 Verzeichnis der akademischen Lehrer**

Meine akademischen Lehrer in Jena waren folgende Damen und Herren:

Glockmann, Guntinas-Lichius, Halbhuber, Heinrich-Weltzien, Hyckel, Jirikowski, Knösel, Küpper, Lupp, Lux, Pfister, Qualmann, Redies, Schaible, Schultze-Mosgau, Sigusch, Stößer, Wiederanders, Witte, Zenk.

## **8.6 Ehrenwörtliche Erklärung**

vor Drucklegung entfernt

## 8.7 Danksagung

Frau Professor Dr. Heike Korbmacher-Steiner danke ich aufrichtig für die Unterstützung und die Möglichkeit an der von ihr geleiteten Klinik für Kieferorthopädie in Marburg die vorliegende Arbeit anfertigen zu können. Vielen Dank!

Weiterhin danke ich Herrn Oberarzt Dr. Andreas Hellak und Herrn Dr. Michael Schauseil, die mir immer mit Rat und Tat zur Seite standen. Vor allem möchte ich dabei die hervorragende technische Unterstützung von Dr. Schauseil und die stets warmherzige, kurzfristige und kompetente Hilfe von Oberarzt Dr. Hellak hervorheben. Vielen Dank Jungs!

Frau Dr. Imme Haubitz danke ich für die freundlichen Erklärungen und die Hilfe zur statistischen Auswertung der verwendeten Daten.

Ein großer Dank geht an Herrn Dr. Rolf Davids. Du gabst mir durch dein fundiertes Fachwissen viele Anregungen für meine Arbeit mit dem DVT und die vielen Möglichkeiten, die die digitale medizinische Bildgebung bietet.

Herrn Dr. Dr. Wolfgang Kater möchte ich danken, da die Arbeit in seiner Praxis sowie seine herausragende operative Tätigkeit eine unverzichtbare Grundlage der vorliegenden Arbeit sind.

Für den unerschütterlichen Ansporn und die Unterstützung bei dem „Vorhaben Promotion“ möchte ich aus tiefstem Herzen meiner Frau Dr. Stephanie Kirsten (geb. Schönberg) danken.

Des Weiteren möchte ich mich von ganzem Herzen bei meinen Eltern Dres. Gabriele und Ralf Kirsten bedanken, ohne die ein Studium und eine Promotion niemals möglich gewesen wären!

Danken möchte ich für die (Studien-)Zeit in Jena an der Alma Mater Jenensis, während der der Grundstein für meine Tätigkeit als Zahnarzt und Oralchirurg sowie für meine wissenschaftliche Arbeit gelegt wurde.